

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y  
MÁQUINAS**

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS  
ENERGÍA Y PROPULSIÓN**



**“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A  
UNA REPARACIÓN A BORDO”**

**TFG / GTM / E-41-18**

**DICIEMBRE - 2017**

**AUTOR: Jaime Rodríguez San José**

**DIRECTOR: José Antonio Orosa García**

## **AUTORIZACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS  
ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

D. JOSÉ ANTONIO OROSA GARCÍA, en calidad de director principal, autorizo al alumno D. JAIME RODRÍGUEZ SAN JOSÉ, con DNI nº 47436275V a la presentación del presente Trabajo de Fin de Grado titulado:

**“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO”**

**CONVOCATORIA: DICIEMBRE - 2017**

Fdo. el director

Fdo. el alumno

José Antonio Orosa García

Jaime Rodríguez San José

## **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**

**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

**CONVOCATORIA DE**

☒ **DICIEMBRE** ☐ **FEBRERO** ☐ **JUNIO** ☐ **JULIO** ☐ **SEPTIEMBRE**

**D. JAIME RODRÍGUEZ SAN JOSÉ**

**DNI 47436275 V**

Deposita en la Secretaría de la E.T.S. de Náutica y Máquinas dos (2) copias en papel y cuatro (4) en formato digital (CD) del **Trabajo Fin de Grado TFG / GTM / E- 41-18**

Asimismo, autoriza expresamente a la E.T.S. DE NÁUTICA Y MÁQUINAS a publicarlos electrónicamente en el repositorio de la Universidade da Coruña si así lo considera o en su caso en la Biblioteca del Centro para uso docente y consulta.

En La Coruña a 11 de Diciembre de 2017

Fdo. el alumno

**A/A. BIBLIOTECA DE LA E.T.S. DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

# **“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO”**

---

## **ÍNDICE GENERAL**

---



### **GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

#### **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: DICIEMBRE 2017

AUTOR: El alumno

Fdo. Jaime Rodríguez San José



<b>1. MEMORIA</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Objeto</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Alcance</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Antecedentes</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Normas y referencias</b>	<b>15</b>
1.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	15
1.4.2. Bibliografía	16
1.4.3. Programas informáticos empleados	17
<b>1.5. Definiciones y abreviaturas</b>	<b>17</b>
<b>1.6. Requisitos de diseño</b>	<b>21</b>
<b>1.7. Análisis de las soluciones</b>	<b>25</b>
<b>1.8. Resultados finales</b>	<b>27</b>
<b>2. ANEXOS</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Cálculos</b>	<b>32</b>
<b>2.2 Diseño de probetas de espesor entre 0,1 mm y 3 mm</b>	<b>34</b>
<b>2.3. Tablas de características</b>	<b>36</b>
2.3.1. Diagrama tensión-deformación para diferentes metales	36
2.3.2. Placa de características de una fuente de energía	37
2.3.3. Comparación entre corriente continua y alterna	37
2.3.4. Ventajas y limitaciones del soldeo por arco	38
2.3.5. Características de los electrodos de rutilo	39
2.3.6. Características de los electrodos básicos	40
<b>2.4. Ilustraciones</b>	<b>41</b>
2.4.1. Frontal de la Máquina Universal	41
2.4.2. Mandos de control de la Máquina Universal	42
2.4.3. Mordazas de la Máquina Universal	42
2.4.4. Cuadro eléctrico de la Máquina Universal	43
2.4.5. Placa de características de la Máquina Universal	43
2.4.6. Parte trasera de la Máquina Universal	44

2.4.7. Parte trasera destapada de la Máquina Universal	45
2.4.8. Hidráulica de la Máquina Universal	46
2.4.9. Probeta proporcional mecanizada	47
2.4.10. Comienzo del ensayo de la probeta	47
2.4.11. Estricción	48
2.4.12. Fin del ensayo de la probeta	49
2.4.13. Primera probeta rota	49
2.4.14. Detalle de la zona de rotura de la primera probeta	50
2.4.15. Segunda probeta rota	50
2.4.16. Detalle de la zona de rotura de la segunda probeta	50
2.4.17. Características del equipo de soldadura del ensayo	51
2.4.18. Fuente de energía y cuadro de suministro eléctrico	52
2.4.19. Mesa de trabajo, porta-electrodos y herramientas de saneado	53
2.4.20. Extractor de humos y gases	53
2.4.21. Primera probeta reparada	54
2.4.22. Primera probeta reparada, montada en la Máquina Universal	54
2.4.23. Comienzo del ensayo de la primera probeta reparada	55
2.4.24. Fin del ensayo de la primera probeta reparada	56
2.4.25. Detalle de la zona de rotura de la primera probeta reparada	57
2.4.26. Segunda probeta reparada	57
2.4.27. Detalle de la unión soldada en la segunda probeta reparada	57
2.4.28. Detalle del material eliminado de la segunda probeta, antes de su reparación mediante unión soldada	58
2.4.29. Comienzo del ensayo de la segunda probeta reparada	58
2.4.30. Fin del ensayo de la segunda probeta reparada	59
2.4.31. Segunda probeta reparada fracturada	59
2.4.32. Detalle de la zona de rotura de la segunda probeta reparada	59

<b>3. PLANOS</b>	62
<b>3.1. Plano de situación</b>	62
<b>3.2. Plano de emplazamiento</b>	63
<b>3.3. Diseño de la probeta</b>	64
<b>3.4. Representación esquemática del proceso de soldadura</b>	65
<b>4. PLIEGO DE CONDICIONES</b>	68
<b>4.1. Pliego de cláusulas administrativas generales</b>	68
4.1.1. Disposiciones generales	68
4.1.1.1. Normas generales de aplicación	68
4.1.1.2. Documentos de los que consta este proyecto	68
4.1.1.3. Entidad propietaria	68
4.1.1.4. Director de proyecto	69
4.1.2. Condiciones económicas	69
4.1.2.1. Base fundamental	69
4.1.2.2. Plazo de garantía	69
4.1.2.3. Equivocaciones en el presupuesto	69
4.1.2.4. Mejoras de proyecto	69
4.1.2.5. Seguro de trabajadores	70
4.1.2.6. Reclamaciones por parte del contratista	70
4.1.3. Condiciones temporales y administrativas	70
4.1.3.1. Remisión de precios	70
4.1.3.2. Comienzo de trabajos y plazo de ejecución	70
4.1.4. Condiciones legales	70
4.1.4.1. Jurisdicción	70
4.1.4.2. Accidentes laborales y daños a terceros	71
4.1.4.3. Causas de rescisión del contrato	71
4.1.4.4. Responsabilidades, sanciones y recursos	71
<b>4.2. Pliego de condiciones técnicas particulares</b>	72
4.2.1. Disposiciones generales	72
4.2.2. Máquina Universal y Ensayo de Tracción	72

4.2.3. Materiales empleados	73
4.2.4. Proceso de soldadura	73
4.2.5. Mano de obra	77
4.2.6. Pruebas y análisis	77
<b>5. PRESUPUESTO</b>	<b>81</b>
<b>5.1. Presupuesto del ensayo</b>	<b>81</b>
<b>5.2. Presupuesto de la reparación</b>	<b>81</b>
<b>5.3. Presupuesto total</b>	<b>81</b>

# **“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO”**

---

## **MEMORIA**

---

### **GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

#### **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: DICIEMBRE 2017

AUTOR: El alumno

Fdo. Jaime Rodríguez San José

<b>1. MEMORIA</b>	11
<b>1.1. Objeto</b>	11
<b>1.2. Alcance</b>	11
<b>1.3. Antecedentes</b>	11
<b>1.4. Normas y referencias</b>	15
1.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	15
1.4.2. Bibliografía	16
1.4.3. Programas informáticos empleados	17
<b>1.5. Definiciones y abreviaturas</b>	17
<b>1.6. Requisitos de diseño</b>	21
<b>1.7. Análisis de las soluciones</b>	25
<b>1.8. Resultados finales</b>	27

## **1. MEMORIA**

### **1.1. Objeto**

El objetivo principal de este proyecto es el estudio de las propiedades mecánicas de un acero con baja concentración de carbono (0,2 %, en nuestro caso) a la hora de resistir un esfuerzo de tracción, así como conocer cómo se fijan las condiciones del ensayo, qué requisitos debe de cumplir la muestra a ensayar, cómo se maneja la máquina universal para la realización del ensayo y qué información se puede extraer a partir de los datos registrados y cómo utilizarlos de manera que nos sean de provecho.

Puesto que además ensayar probetas normalizadas también se ensayarán dichas probetas una vez se hayan fracturado, a raíz del ensayo, y reparado mediante unión soldada, también se realizará un análisis de los métodos de soldadura y de los pasos previos y posteriores a la realización de dicha unión soldada, así como las condiciones de seguridad a tener en cuenta.

La intención final del trabajo es la de comprobar si es correcto reparar una posible pieza fabricada con el material de la probeta empleada en el ensayo o, por el contrario, en una aplicación real sería conveniente la instalación de una pieza nueva.

### **1.2 Alcance**

Dentro de las limitaciones de recursos y equipos disponibles, este estudio práctico engloba una gran variedad de usos y aplicaciones, pero se ha buscado simplificar todo lo posible la reparación de la pieza fractura, pues a bordo de los buques no siempre se cuenta con los mejores medios ni condiciones a la hora de subsanar problemas.

### **1.3 Antecedentes**

La mecánica de los materiales trata del comportamiento de los cuerpos sólidos que se someten a diferentes tipos de cargas. Como objetivo principal de

esta rama aplicada, se encuentra la de determinar los esfuerzos, deformaciones unitarias y desplazamientos en los componentes de una estructura como consecuencia de las acciones de las fuerzas que actúan sobre ellas, pues tratar de comprender el comportamiento mecánico, se hace necesario para establecer la posibilidad de tener diseños seguros en todos los tipos de estructuras.

El ensayo a tracción es la forma básica de obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales. Mediante una máquina de ensayos se deforma una muestra o probeta del material a estudiar, aplicando la fuerza uniaxialmente en el sentido de su eje, hasta llegar a la fractura de la misma. Así pues, el resultado inmediato es una curva de carga frente a alargamiento, que transformados en tensión y deformación, en función de la geometría de la probeta ensayada, aportan una información más general.

Es evidentemente necesario conocer la capacidad de un elemento para resistir o transmitir cargas para poder seleccionar su aplicación. De cara a evitar fallos de funcionamiento, es preciso que las cargas que puede soportar sean mayores que las solicitadas durante la operación normal en la aplicación seleccionada.

La capacidad de un elemento para soportar cargas se denomina resistencia, y la relación entre la resistencia real y la resistencia requerida se denomina coeficiente de seguridad, que está claro que debe ser superior a uno si se desea impedir roturas o fallos de funcionamiento.

La determinación de factores de seguridad no es tarea fácil y va unida a factores tales como:

- Probabilidad de sobrecarga accidental.
- Tipos de cargas (estáticas o dinámicas).
- Precisión con que se conocen las acciones.
- Inexactitudes en la construcción.
- Calidad de fabricación
- Variación en las propiedades de los materiales.
- Factores adversos (como los efectos medioambientales).



Por ello, coeficientes de seguridad elevados implican mayores gastos de construcción, gracias a poder garantizar menores probabilidades de rotura.

El proceso es el único proceso de unión que permite conseguir la continuidad, en un mismo plano, entre los elementos a unir, facilitándose la transmisión de tensiones entre las piezas unidas. Como contrapartida, esto conlleva a que una unión soldada resulte más rígida que una atornillada y que una remachada.

Gracias a la reparación mediante unión soldada se aumenta la vida útil en servicio de la pieza, reduciendo los costes de mantenimiento y posibles pérdidas por el tiempo en el que los equipos están fuera de servicio; también, la posibilidad de recuperar una pieza rota elimina la necesidad de grandes cantidades de repuestos.

Para lograr buenos resultados, es necesario disponer de un equipo de soldadura que cuente con regulación de corriente, que sea capaz de controlar la potencia y que resulte sencillo y seguro de manejar. Podemos clasificar los equipos para soldadura por arco en tres tipos básicos:

- Equipo de corriente alterna: transforman la tensión de suministro en una tensión menor con alta corriente. Esto se realiza internamente, a través de un bobinado primario y otro secundario, devaneos sobre un núcleo o reactor ferromagnético con entrehierro regulable.
- Equipo de corriente continua: se clasifican en dos tipos, generadores y rectificadores. En los generadores, la corriente se produce por la rotación de una armadura (inducido) dentro de un campo eléctrico. Esta corriente alterna trifásica es captada por unas escobillas de carbón, rectificándola y convirtiéndola en corriente continua. Los de tipo rectificador poseen un transformador y un puente rectificador de corriente a su salida.
- Equipo de corriente alterna y continua: son capaces de suministrar ambos tipos de corriente. Resultan útiles para realizar todo tipo de soldaduras, especialmente las de tipo TIG o GTAW.

La cobertura del electrodo en la soldadura por arco posee gran influencia sobre los resultados obtenidos puesto que es la encargada de:

- Proveer una máscara de gases de combustión que sirvan de protección al metal fundido para que no reaccione con el oxígeno y el nitrógeno del aire.
- Proveer un pasaje de iones para conducir corriente eléctrica desde la punta del electrodo a la pieza, ayudando al mantenimiento del arco.
- Proveer material fundente para la limpieza de la superficie metálica a soldar, eliminando los óxidos en forma de escorias que serán removidas una vez terminada la soldadura.
- Controlar el perfil de la soldadura, en especial en la soldaduras de filete o esquinas.
- Controlar la rapidez con que el aporte del electrodo se funde.
- Controlar las propiedades de penetración del arco eléctrico.
- Proveer material de aporte, el cual se adiciona al que aporta el núcleo del electrodo y, una vez fundidos y mezclados con éste, forman una aleación durante el proceso de soldadura.

Debido a la composiciones químicas de la cobertura, los electrodos pueden absorber humedad del ambiente. Además de almacenarlos en lugares secos, se pueden introducir en hornos eléctricos de secado para asegurarse que las condiciones de aporte son las óptimas.

Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo y luego determinar el tipo y diámetro de electrodo que más se adapte a estas condiciones. Éste análisis es relativamente simple si el operario se habitúa a considerar los siguientes factores: naturaleza del metal base, dimensiones de la sección a soldar, tipo de corriente que entrega su máquina de soldadura, en qué posición o posiciones se soldará, tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza, si el depósito debe poseer alguna característica especial (resistencia a la corrosión, ductilidad, etc.), y si la soldadura debe cumplir las condiciones de alguna norma o especificaciones especiales.

Después de considerar cuidadosamente los factores indicados, el operario no debería tener dificultad en elegir un electrodo adecuado, el cual le dará un arco

estable, depósitos parejos, escoria fácil de remover y un mínimo de salpicaduras, que son las condiciones esenciales para obtener un trabajo óptimo.

Cuando se suelda con corriente continua existe un sentido único de circulación de corriente y los efectos de la polaridad sobre la soldadura son muy evidentes. Por lo general, la polaridad que se adopta es la inversa, la cual polariza el electrodo positivamente, lo que conlleva a que éste alcance más temperatura que la pieza, el arco se forma con mayor facilidad y permite utilizar un amperaje menor, además de conseguirse una mayor penetración que con la polarización directa. Por todo esto, la polarización directa se reserva para procesos muy particulares.

Existen algunos electrodos que pueden ser utilizados, indistintamente, con ambas polarizaciones, mientras que otros solo son aptos para corriente continua.

## **1.4 Normas y referencias**

### **1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas**

1. UNE1032. Dibujos Técnicos. Principios generales de representación.
2. UNE1035. Dibujos Técnicos. Cuadro de rotulación.
3. UNE 1039. Dibujos Técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.
5. UNE-EN ISO 6892-1. Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente (ISO 6892-1:2016).
6. ISO 7500-1. Materiales metálicos. Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza.
7. ISO 9513. Materiales metálicos. Calibración de las cadenas extensométricas utilizadas en ensayos uniaxiales.
8. UNE-EN ISO 9692-1:2014. Soldeo y procesos afines. Tipos de preparación de uniones. Parte 1: Soldeo por arco con electrodos revestidos, soldeo por arco protegido con gas y electrodo de aporte, soldeo por llama, soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio y soldeo por haz de alta energía de aceros.

9. UNE-EN ISO 4063:2011. Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia.

10. PNE-prEN ISO 2553. Soldeo y procesos afines. Representación simbólica en los planos. Uniones soldadas. (ISO/DIS 2553:2017).

10. UNE-EN ISO 15792-1:2009. Consumibles para el soldeo. Métodos de ensayo. Parte 1: Método de ensayo para probetas de ensayo de metal de soldadura en acero, níquel y aleaciones de níquel (ISO 15792-1:2000).

11. UNE-EN ISO 15792-1:2009/A1:2012. Consumibles para el soldeo. Métodos de ensayo. Parte 1: Método de ensayo para probetas de ensayo de metal de soldadura en acero, níquel y aleaciones de níquel. (ISO 15792-1:2000/ Amd 1:2011).

12. UNE-EN 50504:2008. Validación de los equipos de soldadura por arco.

13. UNE-EN 169:2003. Protección individual de los ojos. Filtros para soldadura y técnicas relacionadas. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado.

14. UNE-EN 50444:2008. Norma básica para la evaluación de la exposición humana a los campos electromagnéticos de los equipos de soldadura por arco y procesos afines.

15. UNE-EN ISO 20349-1:2017. Equipo de protección personal. Calzado de protección frente a riesgos en fundiciones y soldadura. Parte 1: Requisitos y métodos de ensayo para la protección contra riesgos en fundiciones. (ISO 20349-1:2017) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2017).

16. UNE-EN ISO 20349-2:2017. Equipo de protección personal. Calzado de protección frente a riesgos en fundiciones y soldadura. Parte 2: Requisitos y métodos de ensayo para la protección contra riesgos en procesos de soldadura (ISO 20349-2:2017) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2017).

#### **1.4.2. Bibliografía**

- William F. Smith y Javad Hashemi, PhD.: "Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales" 4ª Edición, Ed. McGraw-Hill.

- Germán Hernández Riesco: "Manual del soldador" 25ª Edición, Ed. Cesol.
- Manuel Reina Gómez: "Soldadura de los aceros" 2ª Edición, Auto-Editor.
- Normas Aenor - <http://www.bugalicia.org/recursos/aenor/aenormas/> .
- Casillas Máquinas: Cálculos de Taller - <http://casillas-maquinas.com> .

### **1.4.3. Programas informáticos empleados**

- Pages: redacción del Trabajo de Fin de Grado.
- Daum Equation Editor: edición de las ecuaciones matemáticas.
- AutoCAD 2015: realización de planos y representaciones.
- Lightroom 5: edición de las fotos tomadas para el proyecto.
- Menfis 8: cálculo de presupuestos.

### **1.5 Definiciones y abreviaturas**

- Alargamiento: incremento en la longitud inicial entre puntos en cualquier momento durante el ensayo.
- Alargamiento porcentual tras la rotura,  $A$ : alargamiento remanente de la longitud entre puntos tras de la rotura, expresada como tanto por ciento de la longitud inicial entre puntos.
- Coeficiente de estricción,  $Z$ : variación máxima del área de la sección transversal que se produce durante el ensayo, expresado como un tanto por ciento del área de la sección transversal inicial.
- Fuerza máxima,  $F_m$ : en materiales con escalón de cedencia, es la mayor fuerza que soporta la probeta durante el ensayo después del comienzo del endurecimiento por deformación uniforme.
- Carga unitaria: en cualquier momento del ensayo, cociente entre la fuerza y el área de la sección transversal inicial de la probeta.
- Tensión de rotura,  $R_m$ : carga unitaria correspondiente a la fuerza máxima.
- Rotura: fenómeno que se considera que ocurre cuando se produce la separación total de la probeta en dos partes o cuando la fuerza disminuye hasta ser nominalmente cero.

- Longitud calibrada,  $L_c$ : longitud de la parte calibrada de la probeta que presenta una sección más reducida.
- Longitud entre puntos,  $L$ : longitud de la parte cilíndrica o prismática de la probeta sobre la que se mide el alargamiento en cualquier momento durante el ensayo.
- Longitud inicial entre puntos,  $L_o$ : distancia entre las marcas realizadas sobre la probeta, medida a temperatura ambiente antes del ensayo.
- Longitud final entre puntos después de la rotura,  $L_u$ : distancia medida entre las marcas realizadas sobre la probeta después de la rotura, a temperatura ambiente, y tras unir cuidadosamente las dos partes de la probeta de forma que sus ejes estén en prolongación.
- Longitud total de la probeta,  $L_t$ : distancia total de todo el conjunto de la pieza de pruebas.
- Anchura inicial de la parte calibrada de una probeta plana,  $b_o$ .
- Anchura final de la parte calibrada de una probeta plana,  $b_u$ .
- Espesor inicial de una probeta plana,  $a_o$ .
- Espesor final de una probeta plana,  $a_u$ .
- Superficie inicial,  $S_o$ : área de la sección transversal inicial de la parte calibrada.
- Superficie final,  $S_u$ : área mínima de la sección transversal después de la rotura.
- Kilopondio, kp: también denominado kilogramo-fuerza, es la fuerza ejercida sobre una masa de 1 kg masa (según se define en el SI) por la gravedad estándar en la superficie terrestre, esto es  $9,80665 \text{ m/s}^2$ . En definitiva, representa lo que pesa una masa de 1 kg en la superficie terrestre. Constituía una de las tres unidades fundamentales del antiguo Sistema Técnico de Unidades.
- Megapascuales, MPa: múltiplo del pascal ( $10^6$  veces su valor), el cual es la unidad de presión del S.I. y se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.
- Milímetro cuadrado,  $\text{mm}^2$ : medida de superficie que indica el área que ocupa un cuadrado de un milímetro de lado. Equivale a una millonésima parte de un metro cuadrado (unidad básica de superficie en el Sistema Internacional de Unidades).
- Sistema Internacional de Unidades, S.I.: sistema de unidades que se usa en todos los países del mundo, constituyendo dichas unidades la referencia internacional de las indicaciones de los instrumentos de medición, a las cuales

están referidas mediante una concatenación ininterrumpida de calibraciones o comparaciones.

- Arco eléctrico: descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos.
- Chaflán: el chaflán de una soldadura es la abertura entre las dos piezas a soldar que facilita el espacio para contener la soldadura.
- Conexión de masa: vía de retorno de baja impedancia de la corriente de un circuito eléctrico hacia la fuente eléctrica, de modo que, en caso de que haya un problema de aislamiento, la corriente fluye por este camino y activará las protecciones necesarias, evitando la posibilidad de que el usuario sea alcanzado con alta tensión al tocar un dispositivo y ser la vía de conducción.
- Cordón de soldadura: depósito de metal fundido resultado de la progresión longitudinal de un proceso de soldadura.
- Corriente continua: aquella corriente eléctrica en la que el sentido y valor de la intensidad de corriente permanecen constantes a lo largo del tiempo.
- Corriente alterna: aquella corriente eléctrica en la que el sentido de la intensidad de corriente varía periódicamente, es decir, cambia de signo de unos instantes a otros.
- Electrodo: elemento que establece el arco eléctrico, protege el baño de fusión y que, al consumirse, produce la aportación de material que, unida al material fundido del metal base, va a constituir la unión soldada.
- Factor de marcha: o factor de operación, es el porcentaje de tiempo, durante un período cualquiera, en el que una fuente de energía puede funcionar sin sobrecalentarse, en las condiciones previstas por el fabricante.
- Fuente de energía: elemento que se encarga de transformar y/o convertir la corriente eléctrica de la red en otra alterna o continua, con una tensión e intensidad adecuadas para la formación y estabilización del arco eléctrico.
- Mordeduras: en soldadura representan la falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura.
- Número de pasadas: número de veces que se ha tenido que recorrer longitudinalmente la unión soldada hasta completarla.

- Polaridad directa, CCEN: modo de soldadura por el cual se conecta el electrodo en el terminal negativo y la pieza a soldar en el positivo. Las siglas significan corriente continua electrodo negativo.
- Polaridad inversa, CCEP: modo de soldadura por el cual se conecta el electrodo en el terminal positivo y la pieza a soldar en el negativo. Las siglas significan corriente continua electrodo positivo.
- Porta-electrodo: tiene la misión de sujetar el electrodo durante el proceso de soldadura y de conducir la electricidad hacia él.
- Rectificador: aparato que deja pasar la corriente solamente en un sentido; en consecuencia, la corriente alterna se convierte en continua.
- Rendimiento gravimétrico: es la relación entre el metal depositado durante la soldadura y el peso del alma del electrodo empleado.
- Salpicaduras o proyecciones: en soldadura denominan a las gotas de metal fundido proyectado durante el soldeo que se adhieren sobre el metal base o sobre el metal de soldadura ya solidificado.
- Soplo magnético: desviación del arco de soldeo producido por la distorsión del campo magnético existente alrededor de dicho arco, debido al cambio de dirección de la corriente al entrar en la pieza del metal base y dirigirse hacia la masa y a que las líneas de fuerza del campo magnético existente tienden a pasar por la pieza de metal base (sobre todo si ésta es ferromagnética) antes que por el aire, pues para ellas es más fácil este camino, juntándose en las proximidades de los bordes de la chapa.
- Tensión de vacío: tensión entre los bornes de una fuente de alimentación para soldadura, con exclusión de toda tensión de cebado o de estabilización del arco, cuando el circuito exterior está abierto y se aplica a los bornes de entrada la tensión de alimentación asignada.
- Transformador: dispositivo que modifica los valores de la tensión e intensidad de la corriente alterna.
- Unión a tope: tipo de unión de dos piezas realizada por simple acoplamiento de sus bordes en el mismo plano, sin tener que llevar a cabo algún tipo de corte especial en las piezas.



## 1.6. Requisitos de diseño

A continuación se mencionarán las condiciones normativas que nos afectan de cara a la realización de las diversas actividades de este proyecto.

El ensayo se debe realizar con una temperatura ambiente comprendida entre los 10 °C y los 35 °C. Si las pruebas se realizan fuera de este rango de temperaturas, el laboratorio es responsable de evaluar el impacto de la temperatura sobre los ensayos y sobre la calibración de los datos obtenidos, registrándose e informando la temperatura a la que se realizó el ensayo. Si se presentan gradientes de temperatura significativos durante el proceso, la incertidumbre de las mediciones puede ser tal que quedan fuera de las condiciones toleradas.

La máquina universal con la que se vaya a realizar el ensayo debe ser capaz de, al menos, alcanzar la fuerza suficiente para producir la fractura de la probeta, de controlar la velocidad de aumento de fuerzas o los incrementos de carga y de registrar las fuerzas que se aplican y los alargamientos que se observan en la probeta.

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable. La probeta a ensayar se sujeta por sus extremos al cabezal móvil de la máquina de ensayos y a la célula de carga, respectivamente. Las mordazas de sujeción deben mantener firme a la muestra durante el ensayo, mientras se aplica la carga, impidiendo el deslizamiento. A su vez, no deben influir en el ensayo introduciendo tensiones que causen la rotura en los puntos de sujeción. Para que el ensayo se considere válido la rotura debe ocurrir dentro de la longitud calibrada, en la parte central de la probeta.

La sección transversal de las probetas puede ser circular, cuadrada, rectangular, anular o, en casos especiales, de cualquier otra forma constante.

Las probetas que se deben usar preferentemente tienen una longitud inicial entre puntos  $L_o$  que está relacionada directamente con el área de la sección transversal inicial  $S_o$  mediante la fórmula:

$$L_o = k \cdot \sqrt{S_o} \quad (1.6.1)$$

donde  $k$  es un coeficiente de proporcionalidad, lo que les otorga el nombre de probetas de ensayo proporcionales. El valor adoptado internacionalmente para  $k$  es 5,65.

La longitud inicial entre puntos no debe ser menor de 15 mm, pero la utilización de una longitud inicial entre puntos menores de 20 mm supone un incremento de la incertidumbre del resultado del alargamiento tras la fractura. Cuando el área de la sección transversal de la probeta sea demasiado pequeña para que se cumpla este requisito con el valor del coeficiente adoptado internacionalmente, puede usarse un valor mayor (preferentemente 11,3) o una probeta no proporcional. En el caso de probetas no proporcionales, la longitud inicial entre puntos se toma independientemente del área de la sección transversal inicial.

Las probetas mecanizadas deben tener un radio de acuerdo suave entre la parte calibrada y las cabezas de amarre, si poseen diferentes dimensiones. Las dimensiones de este radio de acuerdo son importantes y se recomienda, si no son posibles los valores dados en el anexo apropiado (véase 2.2), se definan en la especificación del producto. Las cabezas de amarre pueden ser de cualquier forma para que se adapten a los dispositivos de sujeción de la máquina de ensayo. El eje de la probeta debe coincidir con el eje de aplicación de la fuerza. La longitud de la parte calibrada o, en el caso de probetas sin radios de acuerdos, la longitud libre entre las mordazas deberá ser siempre mayor que la longitud inicial entre puntos.

Si la probeta consiste en una muestra del producto no mecanizada o en una barra de ensayo no mecanizada, la longitud libre entre las mordazas debe ser la suficiente para que los puntos de referencia estén a una distancia razonable de las mordazas.

Para la determinación manual del alargamiento después de la rotura, cada extremo de la longitud inicial entre puntos debe marcarse de tal modo que las marcas no supongan una rotura prematura. La longitud inicial entre puntos debe marcarse con una precisión de  $\pm 1 \%$ .

En el caso de probetas proporcionales, el valor calculado de la longitud inicial entre puntos se puede redondear al múltiplo más próximo de 5 mm, siempre que la diferencia entre la longitud entre puntos marcada y la calculada sea menor del

10 % de  $L_o$ . Si la longitud de la parte calibrada es mucho mayor que la longitud inicial entre puntos, como ocurre por ejemplo con probetas no mecanizadas, se pueden marcar varias parejas de puntos para limitar varias longitudes entre puntos solapadas entre sí.

En cuanto a los requisitos necesarios para llevar a cabo la reparación de la pieza mediante unión soldada, debemos considerar que la fuente de energía para el soldeo debe presentar una característica descendente (de intensidad constante) para que la corriente prácticamente no se vea afectada por las variaciones en la longitud del arco. En el soldeo en corriente continua se utilizarán transformadores-rectificadores. Para la selección de la fuente de energía adecuada se deberá tener en cuenta el electrodo que se va a emplear, de forma que pueda suministrar el tipo de corriente, rango de intensidades y tensión de vacío que se requiera.

Las mordazas del porta-electrodo deben mantenerse en perfecto estado para evitar que se sobrecalienten y sus dimensiones deben ser las adecuadas para el diámetro de electrodo elegido.

Una situación incorrecta del cable de masa puede provocar el soplo magnético, dificultando el control del arco. Además, un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una interrupción en el circuito y la desaparición del arco. El mejor método es emplear una zapata de contacto de cobre sujeta con una mordaza en forma de C.

El revestimiento del electrodo es muy frágil y si se emplean electrodos con el revestimiento agrietado, o desprendido, la protección del baño de fusión no será perfecta y la estabilidad del arco disminuirá; por lo que se deberán almacenar en recipientes lo suficientemente resistentes, evitar cualquier golpe en su manipulación y manejarlos con guantes limpios y secos. No se debe exponer los electrodos a ambientes excesivamente húmedos (ya que absorben y retienen la humedad con gran facilidad, y la utilización de electrodos húmedos puede

provocar poros, además de grietas en frío) ni depositarlos sobre superficies manchadas de grasa, polvo, pintura u otro tipo de contaminante.

En general, se deberá seleccionar el electrodo de mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita una fácil operación, en función de la posición de soldadura, del espesor del material a soldar y del tipo de unión.

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse y, en ningún caso, se emplearán intensidades que se salgan de su rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación del soplo magnético e, incluso, grietas. La intensidad depende de la posición de soldeo y del tipo de unión, y cuanto mayor sea, mayor será la penetración. Como regla práctica general, se deberá ajustar la intensidad a un nivel en el que la cavidad del baño de fusión sea visible. Si esta cavidad, conocida por su forma como ojo de cerradura, se cierra, la intensidad de soldeo es demasiado baja, y si se hace muy grave nos indica que la intensidad es excesiva.

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. Generalmente será igual al diámetro del electrodo. Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal; mientras que un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además de que el gas y el fundente generados por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal con oxígeno e hidrógeno. Se mantendrá siempre la misma longitud del arco, en la medida de lo posible, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente, lo que provocaría una penetración desigual. En el soldeo en posición plana, sobretodo cuando se emplean electrodos de grueso revestimiento, se puede arrastrar ligeramente el extremo del electrodo, con lo que la longitud del arco vendrá automáticamente determinada por el espesor del revestimiento. En las primeras pasadas de las uniones a tope y en las uniones en ángulo, el arco se debe empujar hacia la unión para mejorar la penetración.

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. Cuanto mayor es la

velocidad de desplazamiento, menor es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atraimiento de gases (produciéndose poros).

Antes de comenzar a soldar, se debe hacer una inspección visual comprobando que las uniones están perfectamente limpias de óxidos, grasa, aceites, agua y de cualquier otro tipo de contaminante, así como que las chapas están bien niveladas y alineadas.

### **1.7. Análisis de las soluciones**

El ensayo se realizará con la máquina universal disponible en la Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas de la ciudad de A Coruña, modelo MUP-20 de la empresa IBERTEST, pues cuenta con la características necesarias para la obtención de los datos necesarios de cara a la realización de este proyecto.

Como punto de partida, se realizará el ensayo de tracción sobre varias probetas, de modo que se compruebe que cumplen con las propiedades que se esperan del material del que están mecanizadas: puesto que se trata de un acero no aleado con un 0,2 % de carbono, su tensión de rotura debe situarse entre los 42 kg/mm<sup>2</sup> y los 51 kg/mm<sup>2</sup> y el alargamiento tras la rotura debe ser de, al menos, un 26 %. El disponer de varias probetas traccionadas hasta su rotura también otorga la posibilidad de experimentar con la cantidad de material afectado por la estricción que se debe eliminar, en la fase de preparación de la probeta, para que la reparación se considere satisfactoria.

El dimensionado de las probetas se ha determinado de acuerdo con la normativa de ensayos UNE-EN ISO 6892-1 y se muestra en el apartado 2.1 de este proyecto, mientras que el diseño de la probeta se puede observar en el apartado 3.3. Por seguridad, tiempo disponible y conocimientos, el mecanizado de la misma fue realizado por un profesor en el taller de la Escuela, y, por los mismos motivos, también realizó las soldaduras pertinentes según las características requeridas.

Por disponibilidad y por conocimiento del equipo, pues fue el que se usó durante las prácticas de la asignatura “Tecnología Mecánica y Mecanismos” del Grado para el que se presenta este proyecto, la reparación de las probetas se realizó mediante unión soldada por arco eléctrico con electrodo revestido con equipo de soldadura de Autógena Martínez (la placa de características se encuentra en el apartado 2.4.1). Del mismo modo, se emplearán los electrodos disponibles en la Escuela, que resultan ser de 3,25 mm de diámetro y del tipo AWS E-6013; lo cual no se antoja ideal, pues su resistencia a la tracción indicada es de 435 MPa (lo que equivale, aproximadamente, a 44,34 kg/mm<sup>2</sup>) y su revestimiento es de rutilo, cuando un revestimiento básico da un mejor resultado en las soldaduras del tipo de acero de la probeta. El diámetro sí que es el adecuado para el espesor (8 mm) de la pieza y para los parámetros de soldeo seleccionados, los cuales son: soldadura en plano, por ser la de mayor facilidad; a tope y con chaflán plano simple, por su sencillez y porque el espesor de la probeta no requiere de un acabado más sofisticado; con una intensidad de 90 A, adecuada a las características del proceso; y se soldará hacia atrás por ambos lados de la probeta, pues se consigue una penetración profunda, una buena estabilidad del arco, pocas proyecciones y un cordón estrecho.

Este tipo de electrodo se puede emplear en cualquier posición, tanto con corriente continua (en polaridad inversa y directa) como con corriente alterna. Fáciles de encender y de reencender, son poco sensibles a la humedad, generan pocas salpicaduras y una favorable eliminación de escorias, y permiten una razonable velocidad de soldeo. Resultan idóneos para todo tipo de soldadura, siempre que no se requiera una elevada tenacidad, por su fácil manejo en cualquier clase de montaje, la escasa influencia de las condiciones ambientales sobre ellos y por ser adecuados para emplearse en todas las posiciones. Por todo ello, los electrodos de rutilo constituyen una gama de consumibles muy apreciada.

Se puede observar una representación esquemática del proceso en el apartado 3.4.

## 1.8. Resultados finales

La tensión de rotura alcanzada por ambas probetas se situó en 47,50 kg/mm<sup>2</sup> y alcanzaron un alargamiento de 40 mm, lo que supone un alargamiento porcentual tras la rotura del 50 %. El coeficiente de estricción resulta un 50,5 %. De este modo, comprobamos que las probetas cumplen con las características esperadas del material ensayado y nos dan los valores de referencia necesarios para evaluar la solución propuesta.

A la hora de preparar las probetas para su reparación, de la primera probeta se eliminaron 15 mm desde el canto de la rotura, pues parecía comprender la totalidad de la zona estriccionada. La tensión alcanzada por esta primera probeta se quedó en 36 kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento de 10 mm, valores muy lejanos a los de la probeta de partida y la tensión de rotura no alcanza la prometida por el electrodo.

Al inspeccionar la soldadura se concluye que este fallo tan prematuro es debido a una falta de penetración, pues se observa que el metal de aportación depositado en ambas caras de la probeta no llegó a juntarse (ilustración 2.4.25). El espacio interno no ocupado por el metal de aportación provoca una notable reducción en la resistencia a la fatiga de la unión soldada. Además, puesto que la fractura se produjo muy próxima a uno de los extremos de la unión soldada, es posible que aún quedase material afectado por las fuerzas del ensayo de tracción inicial en la suficiente medida como para que sus propiedades mecánicas no fuesen las adecuadas.

Con el fin de mejorar los resultados obtenidos con la primera probeta, se realiza una mejor preparación de la superficie eliminando hasta 35 mm desde el canto de la rotura y se eleva la intensidad hasta los 100 A, así como se tiene más cuidado con la velocidad de avance del electrodo.

Estas mejoras nos otorgan los resultados esperados dentro de la limitaciones con las que contábamos al emplear un electrodo que deposita un metal con menor resistencia a la tracción que el acero de la probeta. 42,8 kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento de 52 mm, lo cual nos pone en antecedentes para considerar

que, de haber contado con el electrodo adecuado, la reparación de la probeta hubiera resultado más que satisfactoria.

Dicho electrodo será básico y deberá contar con un índice de carga de rotura superior al del acero objeto del ensayo. Teniendo esto en cuenta, se recomienda el AWS E-7018, pues no solo cumple con las necesidades de un acero con contenido medio en carbono, si no que es un electrodo de gran rendimiento (rendimiento gravimétrico superior al 130 %) para el soldeo en todas las posiciones con corriente continua en polaridad inversa o con corriente alterna. Cuenta con un bajo contenido de hidrógeno, es resistente a la humedad (pero deben ser almacenados a una temperatura de entre 20 °C y 60 °C), cuenta con excelentes propiedades de impacto a temperaturas bajo cero y está especialmente diseñado para soldaduras que requieren severos controles radiográficos en toda posición. Su arco es suave y las salpicaduras son escasas. Y sus aplicaciones típicas son las estructuras de baja aleación, calderería pesada, construcción y reparación de buques, equipos de minería, tuberías, tanques a presión, etc.



# **“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO”**

---

## **ANEXOS**

---

### **GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

#### **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: DICIEMBRE 2017

AUTOR: El alumno

Fdo. Jaime Rodríguez San José

<b>2. ANEXOS</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Cálculos</b>	<b>32</b>
<b>2.2 Diseño de probetas de espesor entre 0,1 mm y 3 mm</b>	<b>34</b>
<b>2.3. Tablas de características</b>	<b>36</b>
2.3.1. Diagrama tensión-deformación para diferentes metales	36
2.3.2. Placa de características de una fuente de energía	37
2.3.3. Comparación entre corriente continua y alterna	37
2.3.4. Ventajas y limitaciones del soldeo por arco	38
2.3.5. Características de los electrodos de rutilo	39
2.3.6. Características de los electrodos básicos	40
<b>2.4. Ilustraciones</b>	<b>41</b>
2.4.1. Frontal de la Máquina Universal	41
2.4.2. Mandos de control de la Máquina Universal	42
2.4.3. Mordazas de la Máquina Universal	42
2.4.4. Cuadro eléctrico de la Máquina Universal	43
2.4.5. Placa de características de la Máquina Universal	43
2.4.6. Parte trasera de la Máquina Universal	44
2.4.7. Parte trasera destapada de la Máquina Universal	45
2.4.8. Hidráulica de la Máquina Universal	46
2.4.9. Probeta proporcional mecanizada	47
2.4.10. Comienzo del ensayo de la probeta	47
2.4.11. Estricción	48
2.4.12. Fin del ensayo de la probeta	49
2.4.13. Primera probeta rota	49
2.4.14. Detalle de la zona de rotura de la primera probeta	50
2.4.15. Segunda probeta rota	50
2.4.16. Detalle de la zona de rotura de la segunda probeta	50
2.4.17. Características del equipo de soldadura del ensayo	51
2.4.18. Fuente de energía y cuadro de suministro eléctrico	52
2.4.19. Mesa de trabajo, porta-electrodos y herramientas de saneado	53
2.4.20. Extractor de humos y gases	53

2.4.21. Primera probeta reparada	54
2.4.22. Primera probeta reparada, montada en la Máquina Universal	54
2.4.23. Comienzo del ensayo de la primera probeta reparada	55
2.4.24. Fin del ensayo de la primera probeta reparada	56
2.4.25. Detalle de la zona de rotura de la primera probeta reparada	57
2.4.26. Segunda probeta reparada	57
2.4.27. Detalle de la unión soldada en la segunda probeta reparada	57
2.4.28. Detalle del material eliminado de la segunda probeta, antes de su reparación mediante unión soldada	58
2.4.29. Comienzo del ensayo de la segunda probeta reparada	58
2.4.30. Fin del ensayo de la segunda probeta reparada	59
2.4.31. Segunda probeta reparada fracturada	59
2.4.32. Detalle de la zona de rotura de la segunda probeta reparada	59

## 2. Anexos

### 2.1. Cálculos

- Determinación de la longitud inicial entre puntos,  $L_o$ , comprendida dentro de la parte calibrada de la probeta:

$$L_o = k \cdot \sqrt{S_o} = 5,65 \cdot \sqrt{8 \cdot 25} = 79,9 \text{ mm} \simeq 80 \text{ mm}$$

- Determinación de la fuerza máxima alcanzada por las probetas proporcionales:

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}; F_m = R_m \cdot S_o = 47,5 \cdot 200 = 9500 \text{ kg}$$

- Determinación de la fuerza máxima alcanzada por la primera probeta reparada:

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}; F_m = R_m \cdot S_o = 36 \cdot 200 = 7200 \text{ kg}$$

- Determinación de la fuerza máxima alcanzada por la primera probeta reparada:

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}; F_m = R_m \cdot S_o = 42,8 \cdot 200 = 8560 \text{ kg}$$

- Equivalencias entre las diferentes unidades de medida de tensión:

$$1 \text{ kp/mm}^2 = 1 \text{ kg/mm}^2 \simeq 9,81 \text{ N/mm}^2 = 9,81 \text{ MPa}$$

- Determinación del alargamiento porcentual tras la rotura de las probetas proporcionales:

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 = \frac{120 - 80}{80} \cdot 100 = 50\%$$

- Determinación del alargamiento porcentual tras la rotura de la primera probeta reparada:

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 = \frac{90 - 80}{80} \cdot 100 = 12,5\%$$

- Determinación del alargamiento porcentual tras la rotura de la segunda probeta reparada:

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 = \frac{132 - 80}{80} \cdot 100 = 65\%$$

- Determinación de la estricción sufrida en las probetas proporcionales:

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100 = \frac{8 \cdot 25 - 6 \cdot 16,5}{8 \cdot 25} \cdot 100 = 50,5\%$$

## 2.2 Diseño de probetas de espesor entre 0,1 mm y 3 mm

De acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 6892-1:2017, la probeta, en general, debe tener unas cabezas de amarre más anchas que la longitud calibrada. Esta longitud calibrada debe presentar un acuerdo con las cabezas de amarre con un radio de al menos 20 mm. La anchura de las cabezas de amarre debería ser  $\geq 1,2 b_o$ , donde  $b_o$  es la anchura inicial.

Está extendido el uso de tres geometrías diferentes de probetas no proporcionales (véase la tabla 2.2.1). La longitud de la parte calibrada no debe ser menor que  $L_o + b_o/2$ . En caso de litigio, y en tanto que haya material en cantidad suficiente, se debería utilizar la longitud  $L_o + 2b_o$ . Cuando se miden las dimensiones de cada probeta, deben aplicarse las tolerancias de forma que se indican en la tabla 2.2.2.

Tipo de probeta	Anchura $b$	Longitud inicial entre puntos $L_o$	Longitud de la parte calibrada $L_c$		Longitud libre entre las mordazas para probetas de lados paralelos
			Mínima	Recomendada	
1	$12,5 \pm 1$	50	57	75	87,5
2	$20 \pm 1$	80	90	120	140
3	$25 \pm 1$	50 a	60 a	-	No definida
a El ratio con el de los tipos 1 y 2. Esto supone que las propiedades, en especial el alargamiento de rotura (valor absoluto e intervalo de dispersión), medidas con estas probeta diferirán de las de otros tipos de probeta.					

Tabla 2.2.1 - Dimensiones de las probetas

Anchura nominal de la probeta (mm)	Tolerancia del mecanizado (mm) a	Tolerancia en la forma (mm) b
12,5	$\pm 0,05$	0,06
20	$\pm 0,10$	0,12
25	$\pm 0,10$	0,12
a Estas tolerancias son aplicables si el valor nominal del área de la sección transversal inicial se va a incluir en el cálculo sin necesidad de medirlo. b Máxima desviación entre las medidas de la anchura a lo largo de toda la longitud de la parte calibrada de la probeta.		

Tabla 2.2.2 - Tolerancias en la anchura de la probeta

Las probetas deben prepararse de manera que no se alteren las propiedades de la muestra. En particular, se deben eliminar por mecanizado las posibles zonas afectadas por el corte de la cizalla o por golpes. La mayor parte de estas probetas se preparan a partir de chapas o bandas. Si fuera posible, las superficies en estado bruto de laminación no deberían eliminarse.

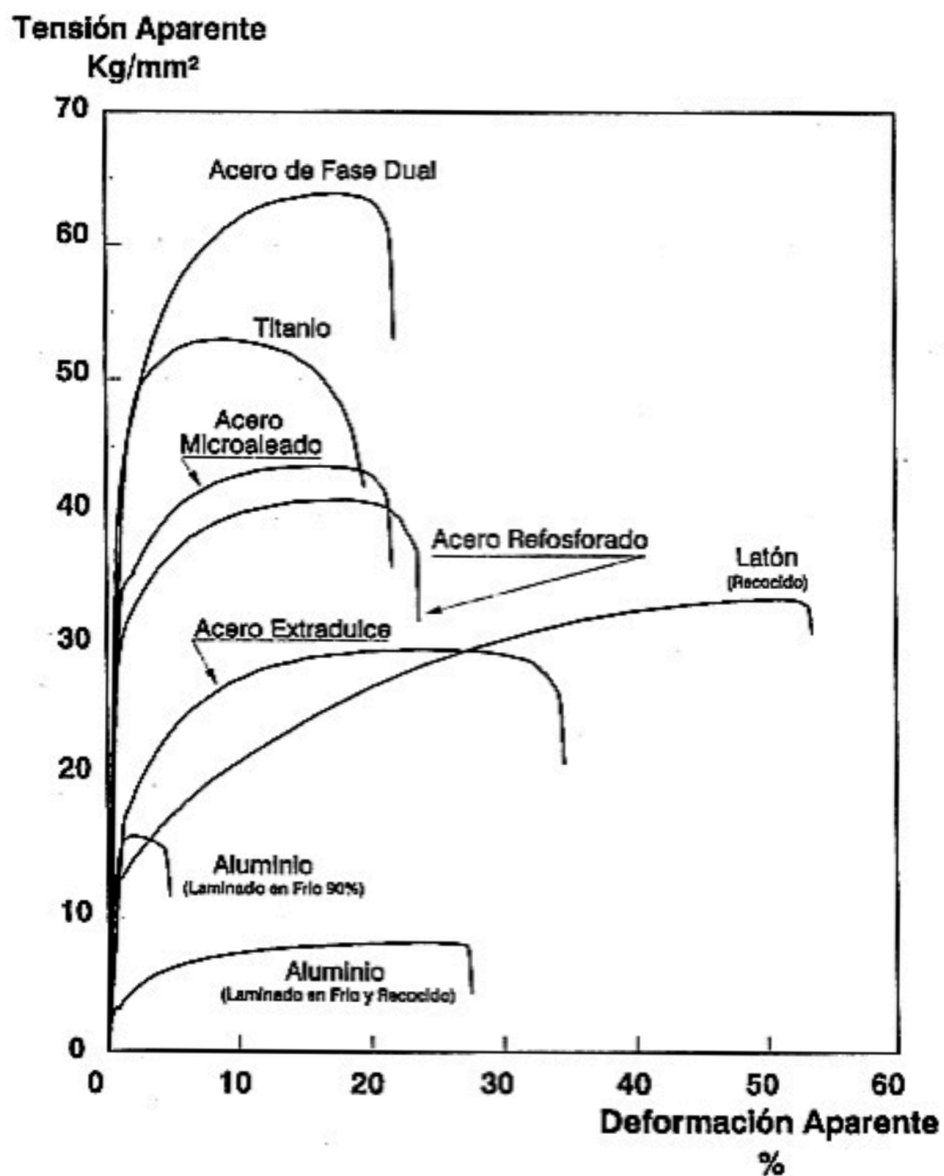
La elaboración de estas probetas por troquelado puede suponer cambios significativos en las propiedades del material, especialmente en el límite elástico aparente/límite elástico convencional (debido al endurecimiento por medios mecánicos). Los materiales que exhiban elevados endurecimientos por medios mecánicos deberían, por regla general, estar preparados para su fresado, amolado, etc.

Para materiales muy delgados, se recomienda que se corten bandas de anchuras idénticas y se junten en un paquete con capas intermedias de papel que sea resistente al aceite de mecanizado. A continuación, cada paquete pequeño de bandas debería ensamblarse con una banda más gruesa antes de mecanizar hasta las dimensiones finales de la probeta.

El área de la sección transversal inicial debe calcularse a partir de medidas de las dimensiones de la probeta, o por supuesto de una buena práctica del mecanizado (véase la nota de pie de la tabla 2.2.2). El error en la determinación del área de la sección transversal inicial no debe exceder a  $\pm 2\%$ . Como la mayor parte de este error normalmente resulta de la medida del espesor de la probeta, el error en la medida de la anchura no debe exceder de  $\pm 0,2\%$ .

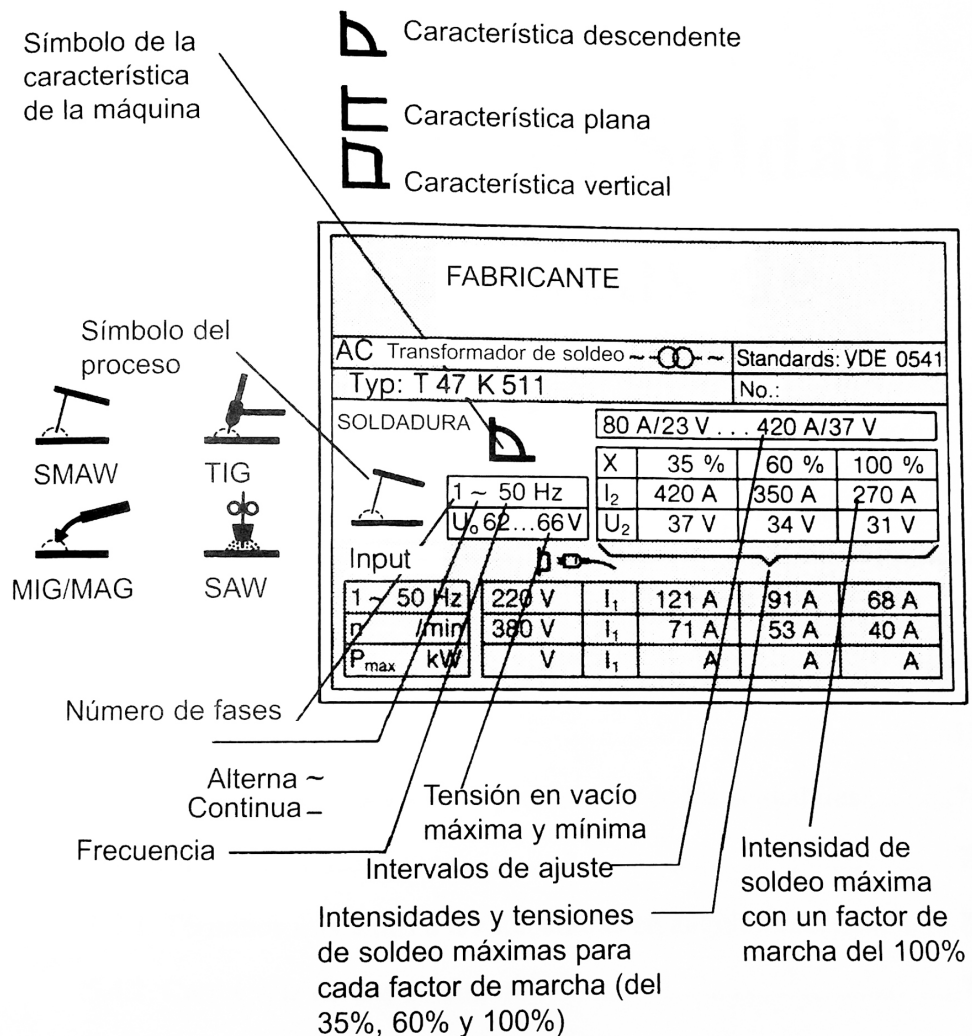
## 2.3. Tablas de características

### 2.3.1. Diagrama tensión-deformación para diferentes metales





### 2.3.2. Placa de características de una fuente de energía



### 2.3.3. Comparación entre corriente continua y alterna

Parámetros	Corriente continua	Corriente alterna
Soldeo a gran distancia de la fuente de corriente		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo	La operación resulta más fácil.	Precaución. El material se puede deteriorar debido a la dificultad de encendido del arco.
Cebado del arco	Resulta más fácil.	Más difícil, en especial si se emplean electrodos de pequeño diámetro.

Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad.	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.
Soplo magnético	Puede ser un problema en el soldeo de ferromagnéticos.	No se presentan problemas.
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo, porque deben utilizarse intensidades bajas.	Si se utilizan los electrodos adecuados se pueden realizar soldaduras en cualquier posición.
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo.	El revestimiento del electrodo debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Espesor de la pieza	Se prefiere para espesores delgados.	Se prefiere con espesores gruesos. Se obtiene mayor rendimiento.
Salpicaduras	Poco frecuentes.	Más frecuentes.
Soldeo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos, sobre todo los de tipo básico)	El soldeo resulta más fácil.	
Polaridad	Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y del electrodo a emplear.	No hay polaridades.

#### 2.3.4. Ventajas y limitaciones del soldeo por arco

Ventajas:

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, de precio contenido y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria una protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.

- Es menos sensible a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante, el proceso debe emplearse siempre protegido frente a los fenómenos atmosféricos.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.

#### Limitaciones:

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria.
- No es aplicable a espesores inferiores a 2 mm.
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como el plomo, el estaño, el cinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, el circonio, el tántalo y el niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación con oxígeno de la soldadura.
- La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima de unos 50 mm, por el modo de suministro mediante pinzas porta-electrodos.
- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor mayor de 2 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm.

#### 2.3.5. Características de los electrodos de rutilo

<b>Composición del revestimiento:</b> rutilo (óxidos de titanio).
<b>Características de la escoria:</b> es muy densa y viscosa.
<b>Ventajas:</b> fácil cebado y manejo del arco, fusión del electrodo suave, cordón de soldadura muy regular y de buen aspecto.
<b>Posición:</b> todas, especialmente indicados para soldar en posición vertical y bajo techo gracias a las características de su escoria.
<b>Aplicaciones:</b> es el electrodo más comúnmente utilizado.

**Tipo de corriente:** tanto continua como alterna.

### 2.3.6. Características de los electrodos básicos

**Composición del revestimiento:** carbonato cálcico y otros carbonatos también básicos.

**Características de la escoria:** densa, no muy abundante, de color pardo oscuro y brillante, se separa fácilmente y asciende con facilidad por lo que se reduce el riesgo de inclusiones de escoria.

**Ventajas:** el metal de soldadura es muy resistente a la fisuración en caliente, además de tener un bajo contenido en hidrógeno, lo que reduce el riesgo de fisuración en frío.

**Limitaciones:** su manejo es algo dificultoso, debiéndose emplear con un arco muy corto y con intensidades altas. Tienden a absorber la humedad con facilidad, por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservarlos en recintos adecuados que los mantengan perfectamente secos. A veces se deben secar en estufas adecuadas justo antes de su empleo, extremando las precauciones cuando vayan a ser utilizados en soldaduras de aceros con problemas de temple.

**Aplicaciones:** soldaduras de responsabilidad. Su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores y estructuras muy rígidas. Aceros débilmente aleados e incluso aceros que presentan baja soldabilidad.

**Posición:** todas.

**Tipo de corriente:** corriente continua y polaridad inversa, aunque hay algún tipo de electrodo preparado para ser empleado también con corriente alterna.

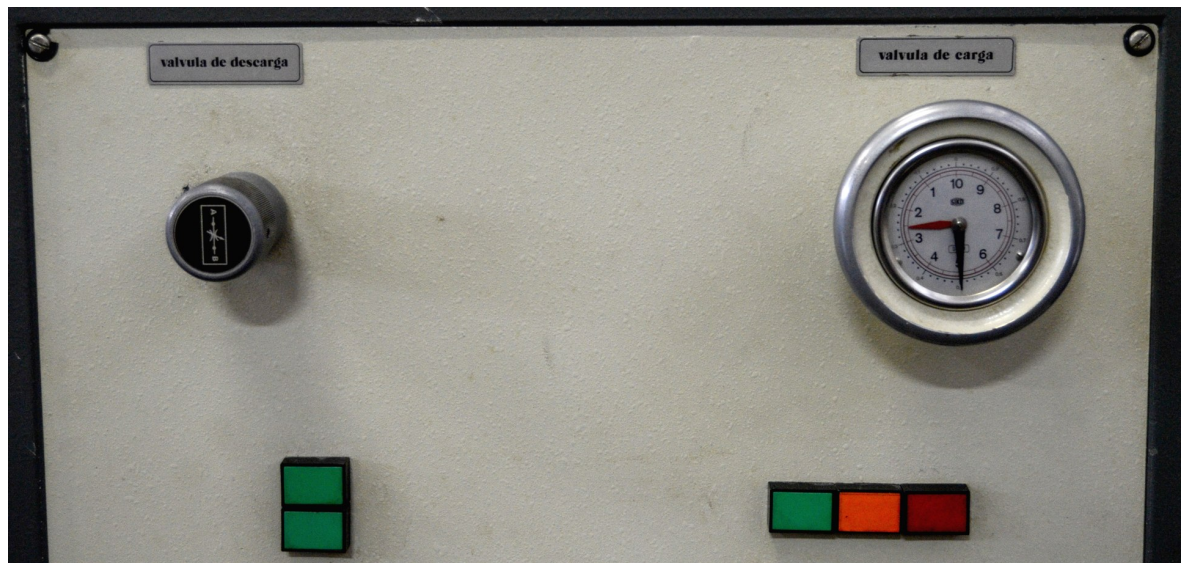
## 2.4. Ilustraciones

### 2.4.1. Frontal de la Máquina Universal

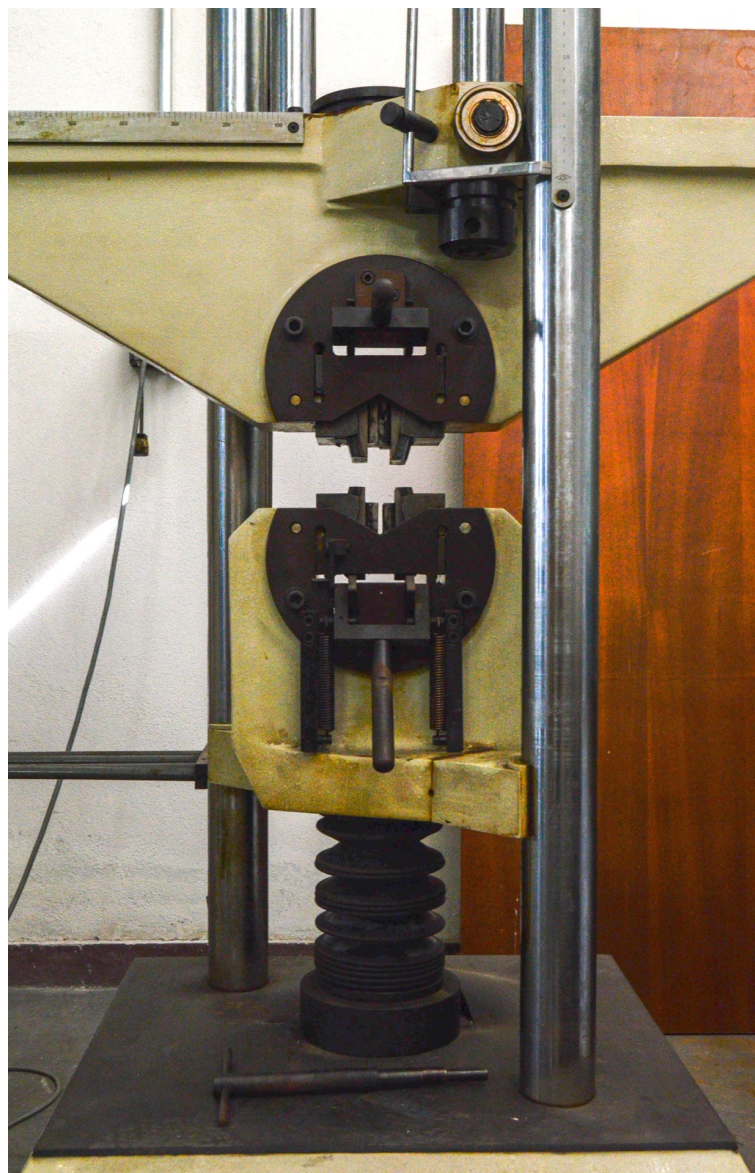




### 2.4.2. Mandos de control de la Máquina Universal

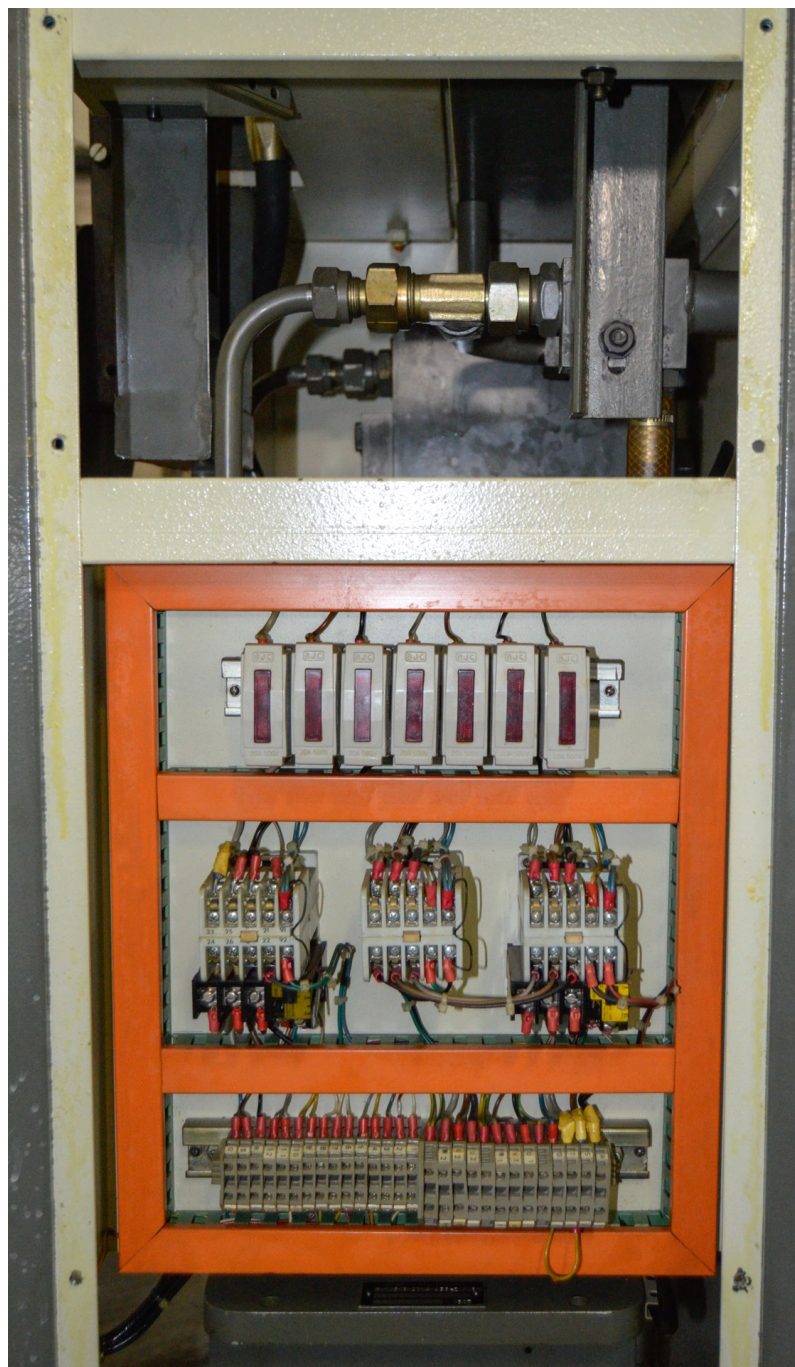


### 2.4.3. Mordazas de la Máquina Universal

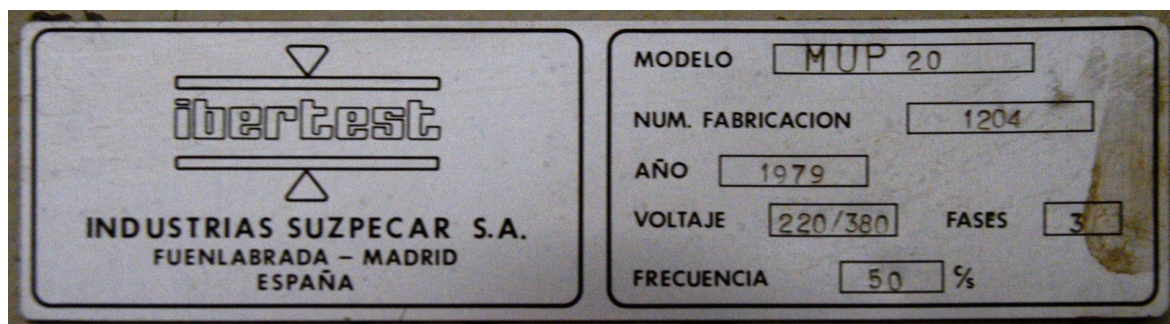




#### 2.4.4. Cuadro eléctrico de la Máquina Universal



#### 2.4.5. Placa de características de la Máquina Universal





#### 2.4.6. Parte trasera de la Máquina Universal





### 2.4.7. Parte trasera destapada de la Máquina Universal



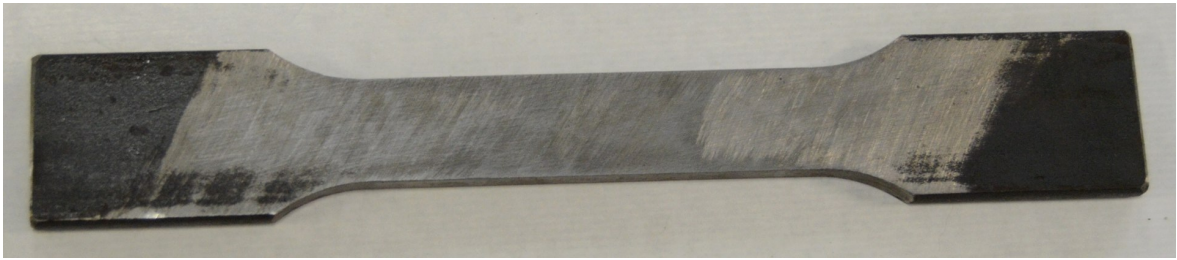


### 2.4.8. Hidráulica de la Máquina Universal

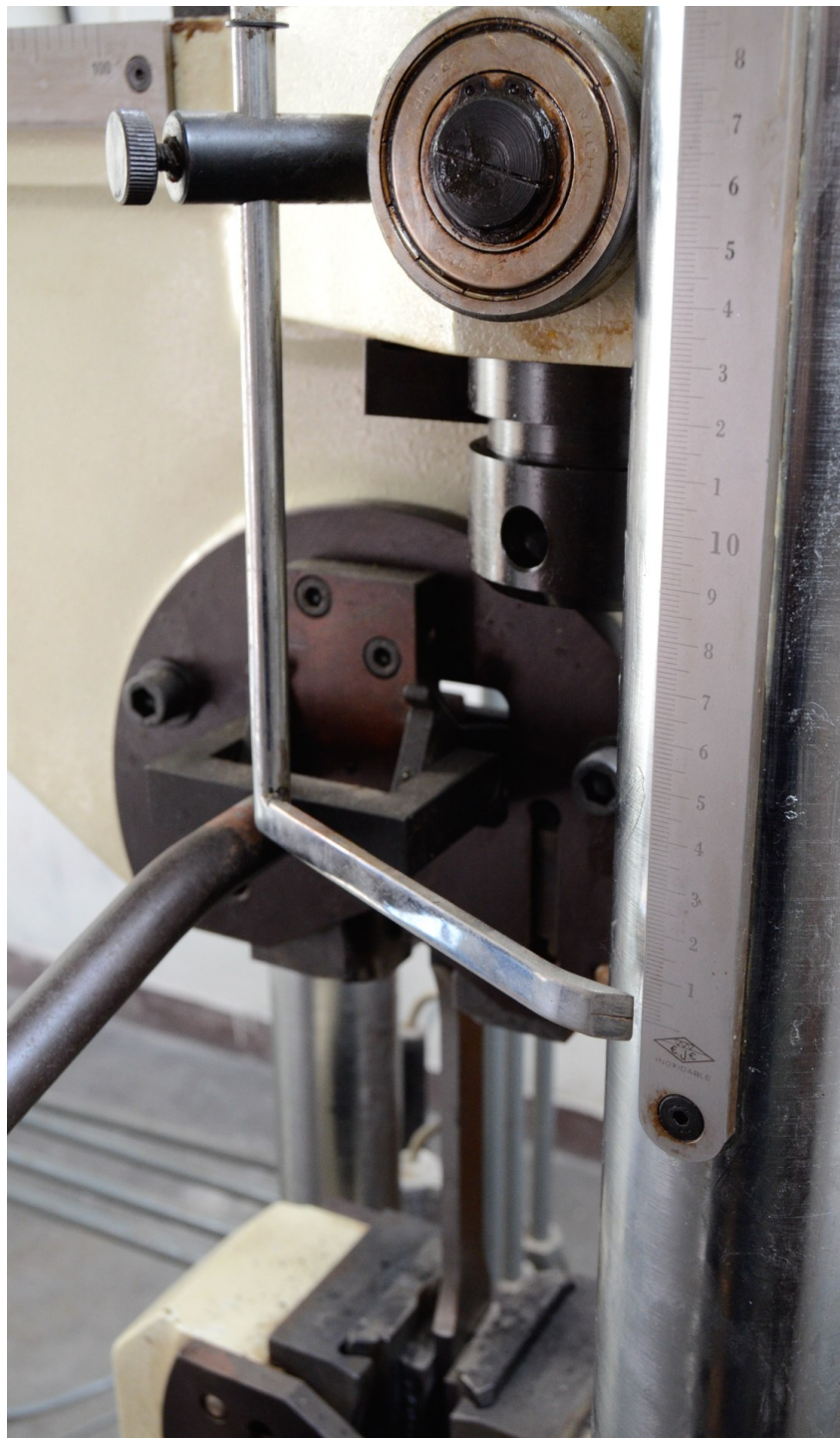




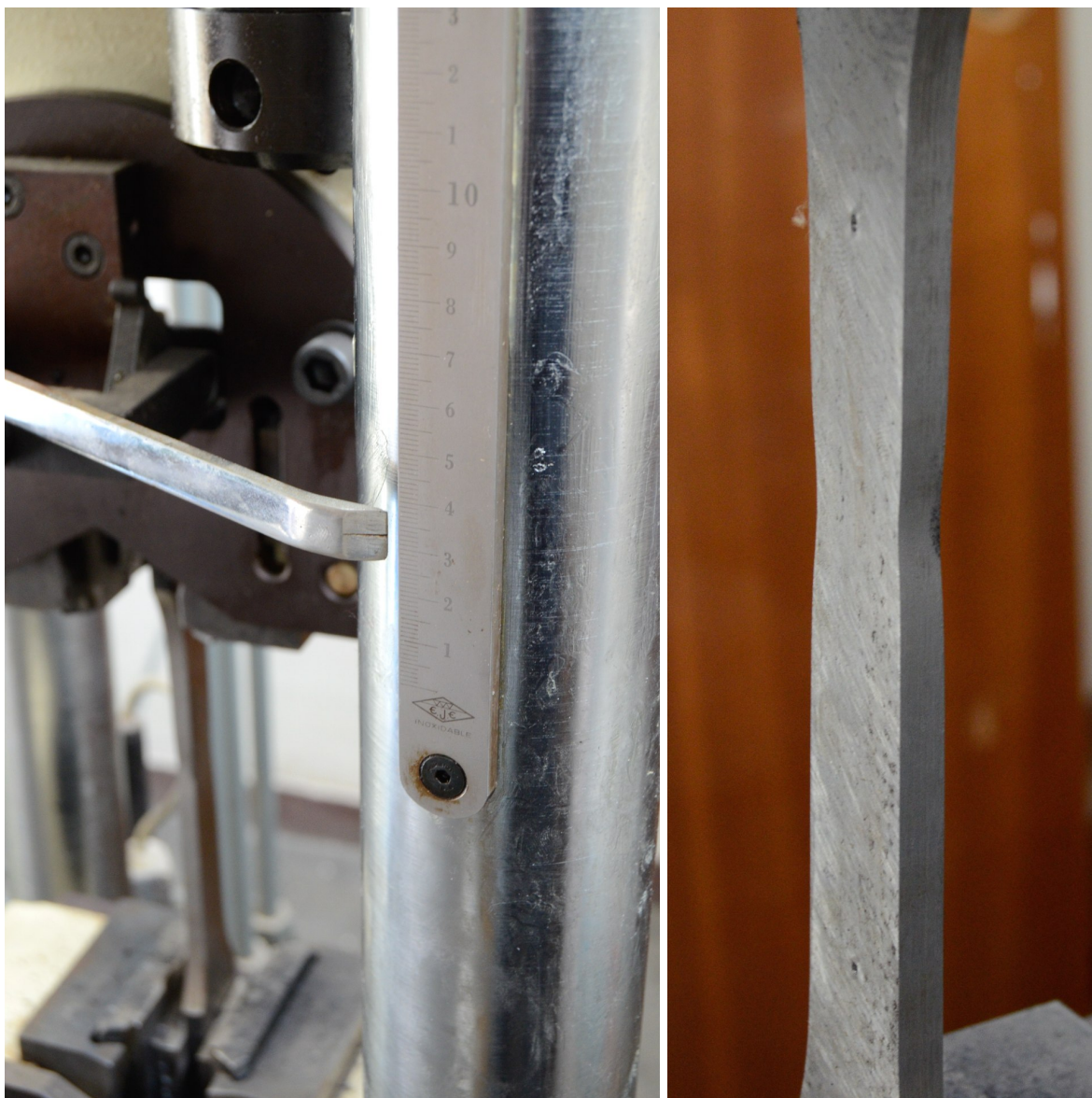
#### 2.4.9. Probeta proporcional mecanizada



#### 2.4.10. Comienzo del ensayo de la probeta



### 2.4.11. Estricción





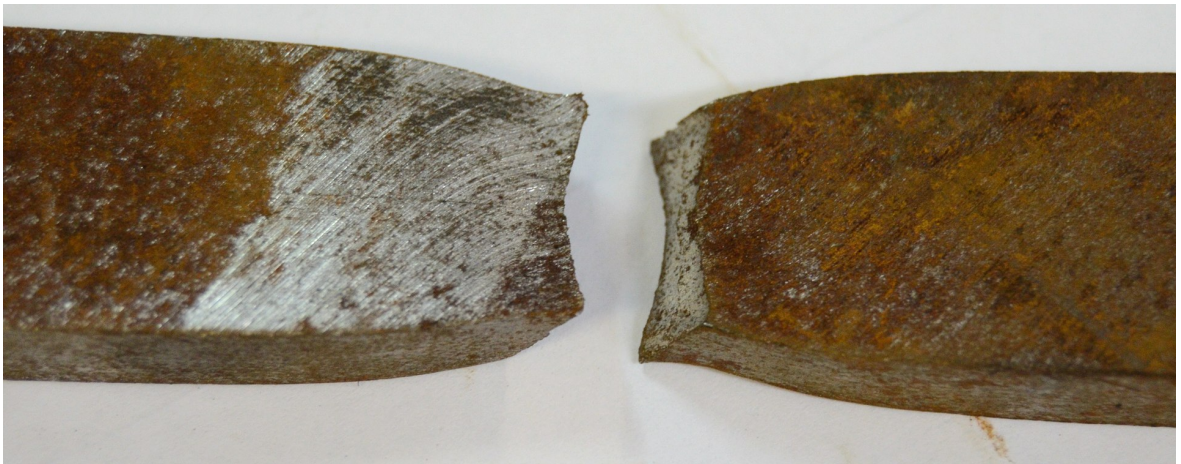
#### 2.4.12. Fin del ensayo de la probeta



#### 2.4.13. Primera probeta rota



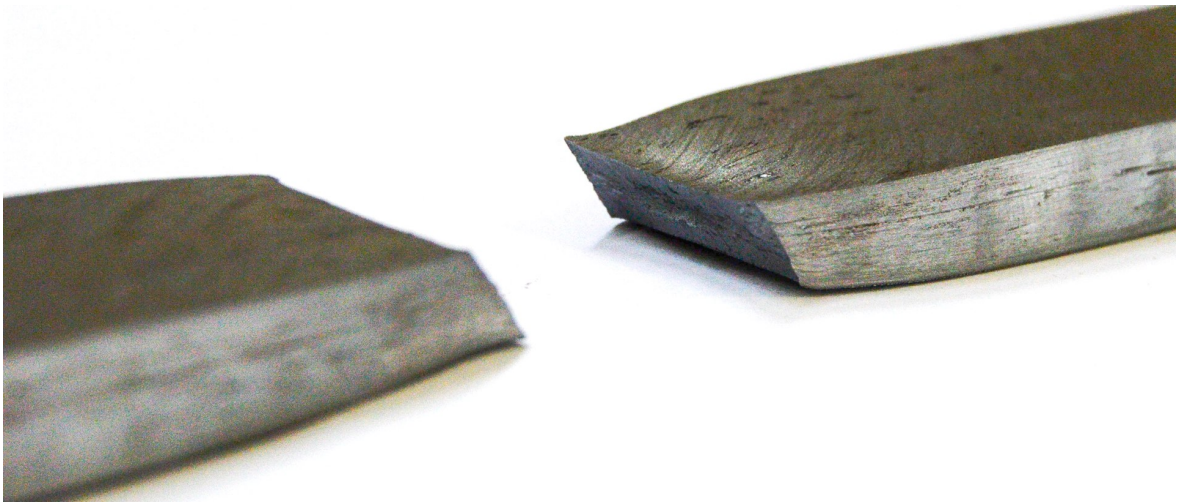
#### 2.4.14. Detalle de la zona de rotura de la primera probeta



#### 2.4.15. Segunda probeta rota

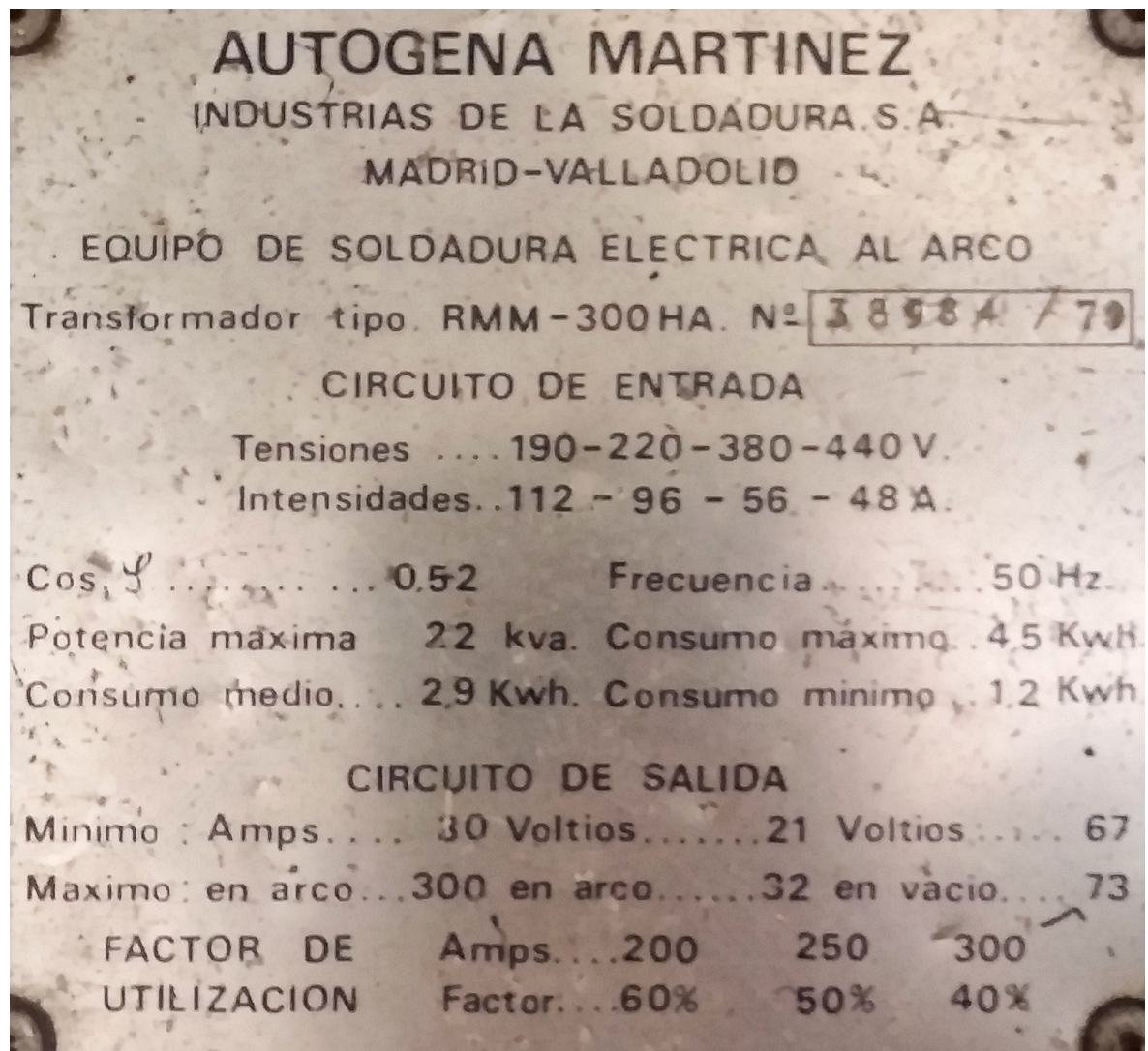


#### 2.4.16. Detalle de la zona de rotura de la segunda probeta

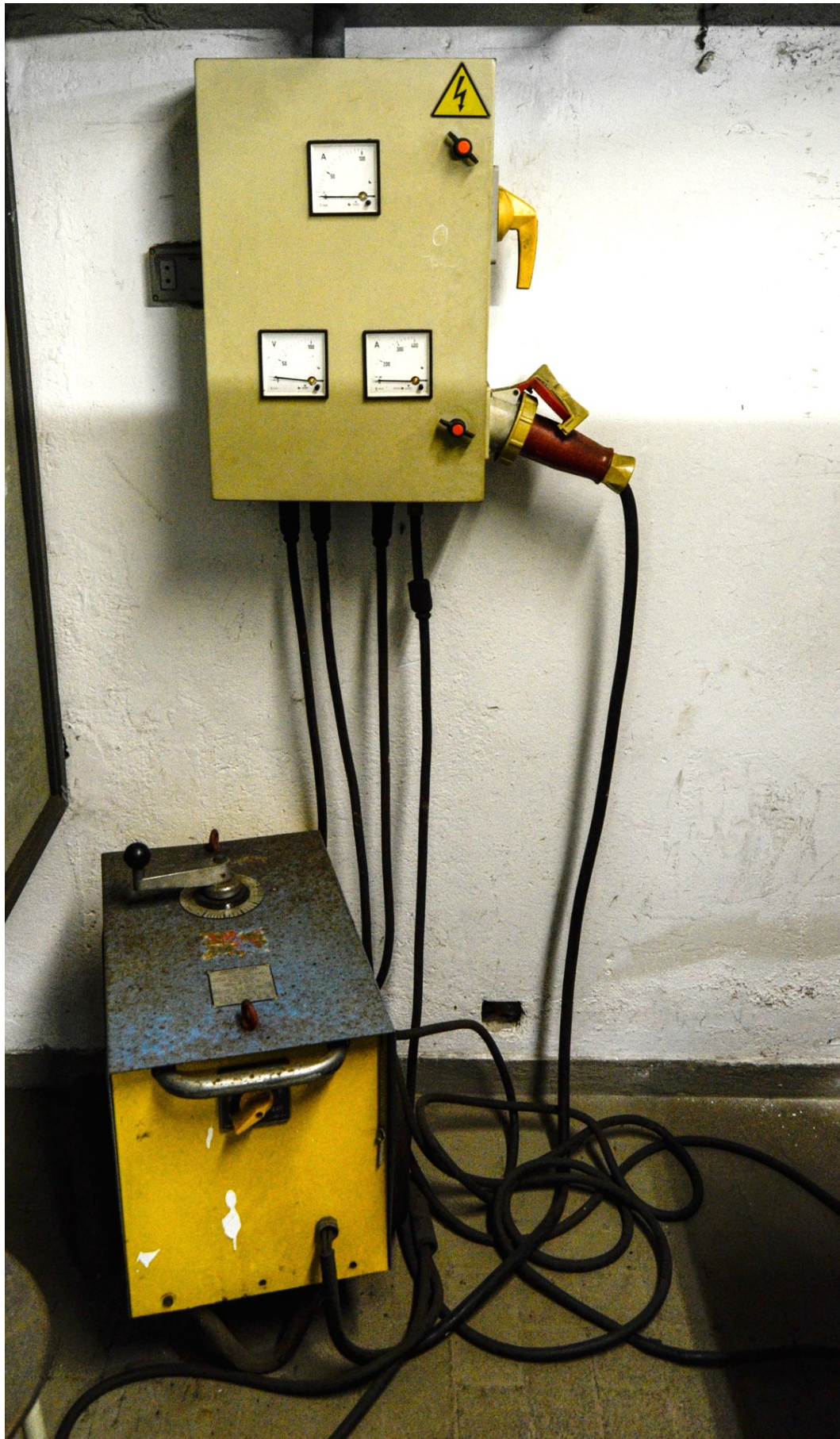




#### 2.4.17. Características del equipo de soldadura





**2.4.18. Fuente de energía y cuadro de suministro eléctrico**



#### 2.4.19. Mesa de trabajo, porta-electrodos y herramientas de saneado



#### 2.4.20. Extractor de humos y gases





#### 2.4.21. Primera probeta reparada

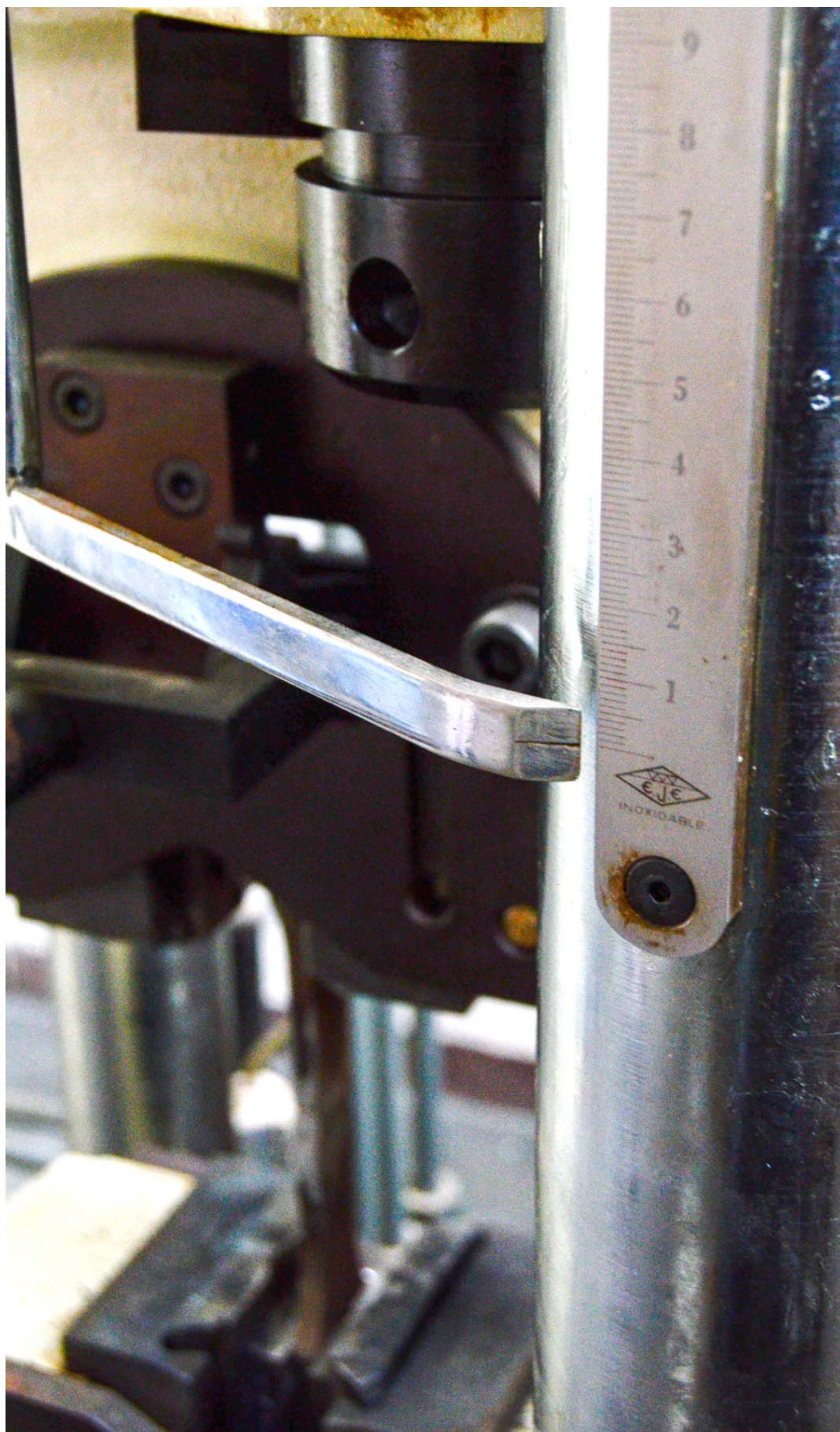


#### 2.4.22. Primera probeta reparada, montada en la Máquina Universal





#### 2.4.23. Comienzo del ensayo de la primera probeta reparada





#### 2.4.24. Fin del ensayo de la primera probeta reparada





#### 2.4.25. Detalle de la zona de rotura de la primera probeta reparada



#### 2.4.26. Segunda probeta reparada



#### 2.4.27. Detalle de la unión soldada en la segunda probeta reparada

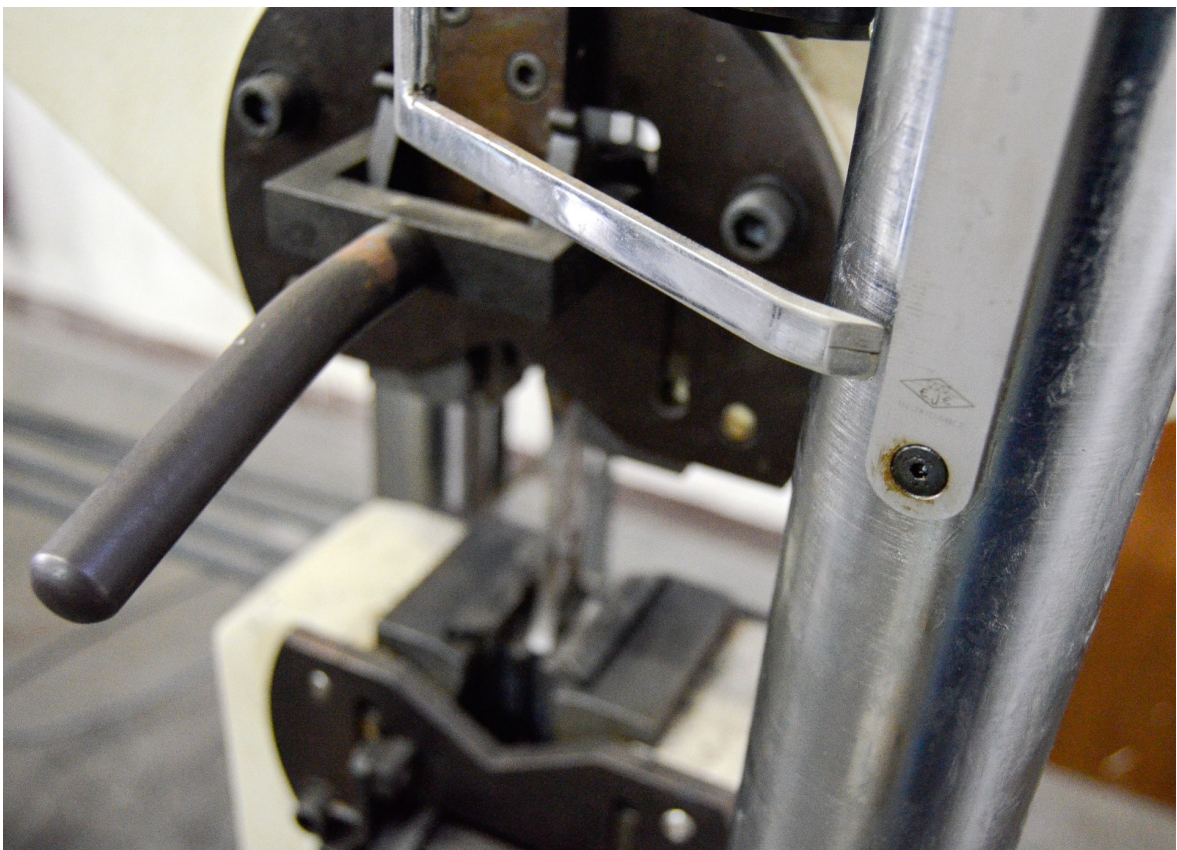




#### 2.4.28. Detalle del material eliminado de la segunda probeta, antes de su reparación mediante unión soldada

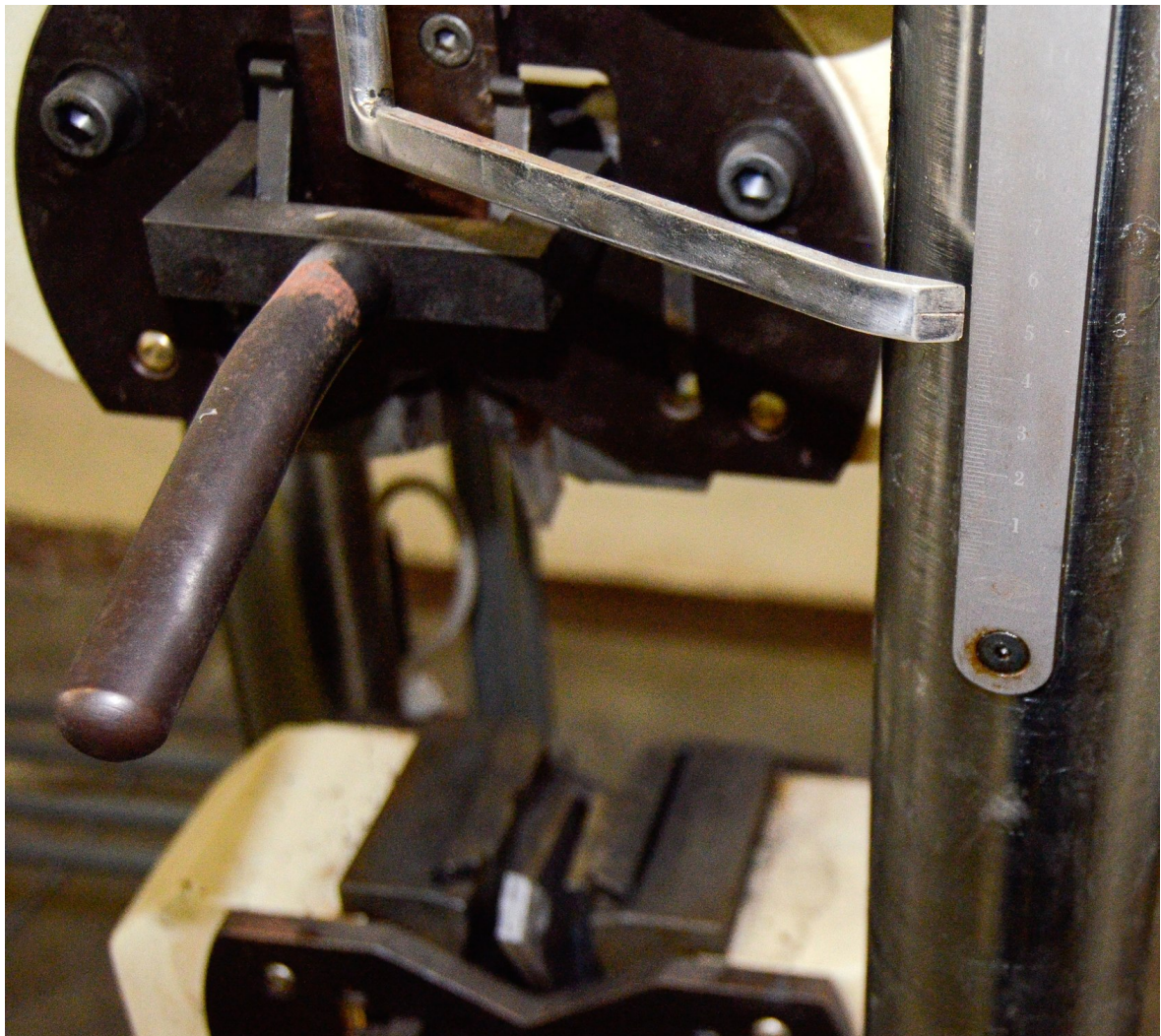


#### 2.4.29. Comienzo del ensayo de la segunda probeta reparada





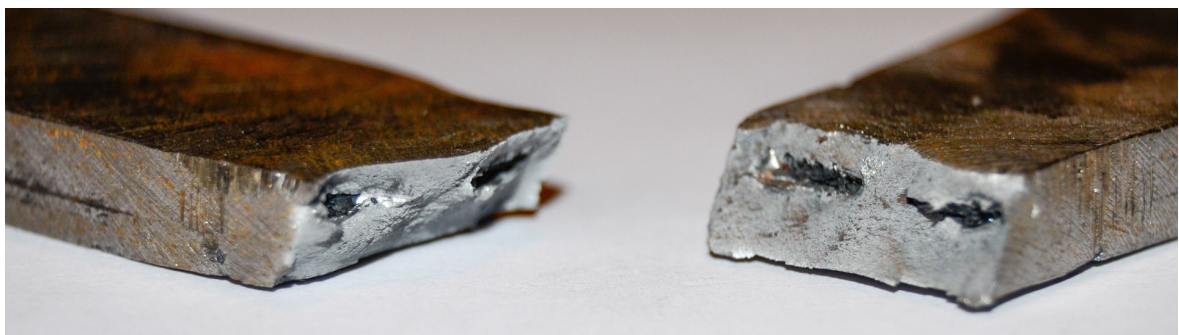
#### 2.4.30. Fin del ensayo de la segunda probeta reparada



#### 2.4.31. Segunda probeta reparada fracturada



#### 2.4.32. Detalle de la zona de rotura de la segunda probeta reparada



# **“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO”**

---

## **PLANOS**

---



### **GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

#### **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: DICIEMBRE 2017

AUTOR: El alumno

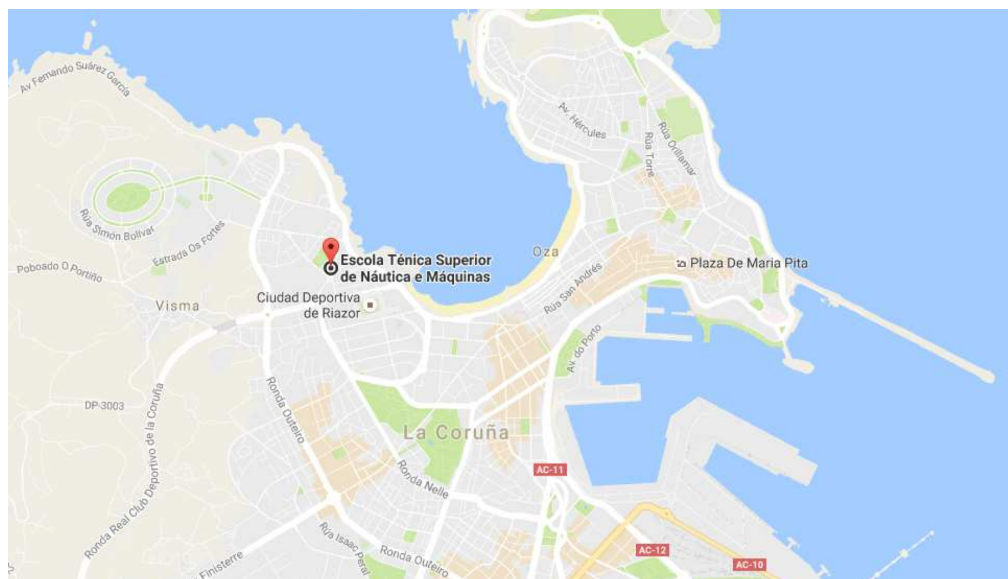
Fdo. Jaime Rodríguez San José



<b>3. PLANOS</b>	62
<b>3.1. Plano de situación</b>	62
<b>3.2. Plano de emplazamiento</b>	63
<b>3.3. Diseño de la probeta</b>	64
<b>3.4. Representación esquemática del proceso de soldadura</b>	65

### 3. PLANOS

#### 3.1. Plano de situación



**E.T.S. DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**  
**TECNOLOGÍAS MARINAS – ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

TRABAJO FIN DE GRADO NÚMERO:

**TFG/GTM/E-41-18**

TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO:

**ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA  
REPARACIÓN A BORDO**

TÍTULO DEL PLANO:

**Plano de situación**

FECHA: **10-12-2017**

ESCALA: 3 cm - 200 km, 3 cm -  
100 km, 2 cm - 500 m

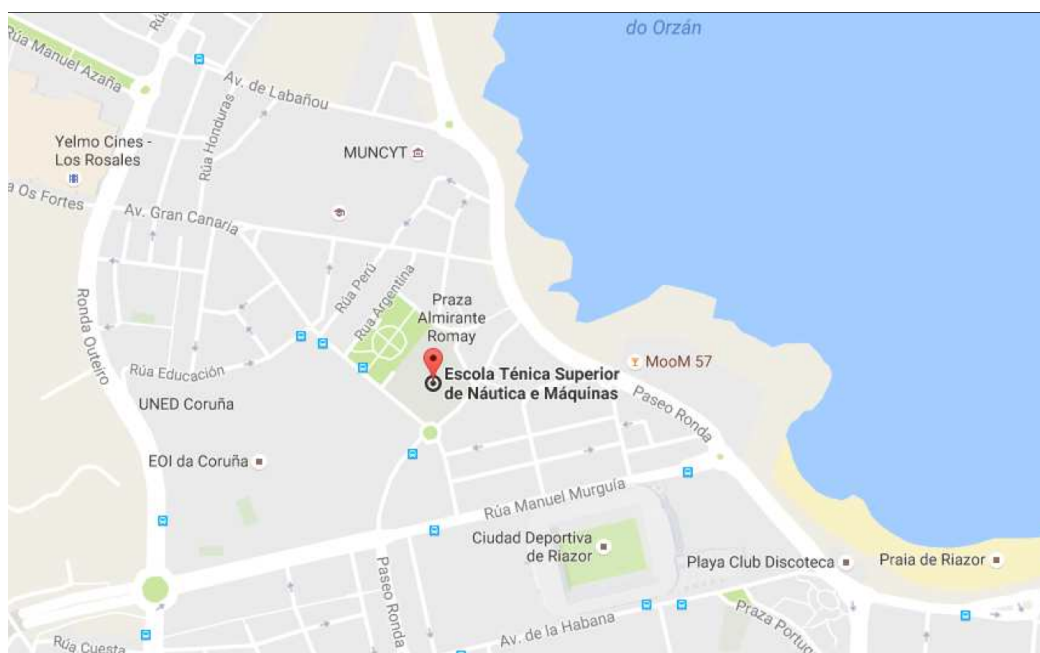
AUTOR:

FIRMA:

**Jaime Rodríguez San José**

PLANO Nº: **1**

### 3.2. Plano de emplazamiento



**E.T.S. DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**  
**TECNOLOGÍAS MARINAS – ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

TRABAJO FIN DE GRADO NÚMERO:

**TFG/GTM/E-41-18**

TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO:

**ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA  
REPARACIÓN A BORDO**

TÍTULO DEL PLANO:

**Plano de emplazamiento**

AUTOR:

**Jaime Rodríguez San José**

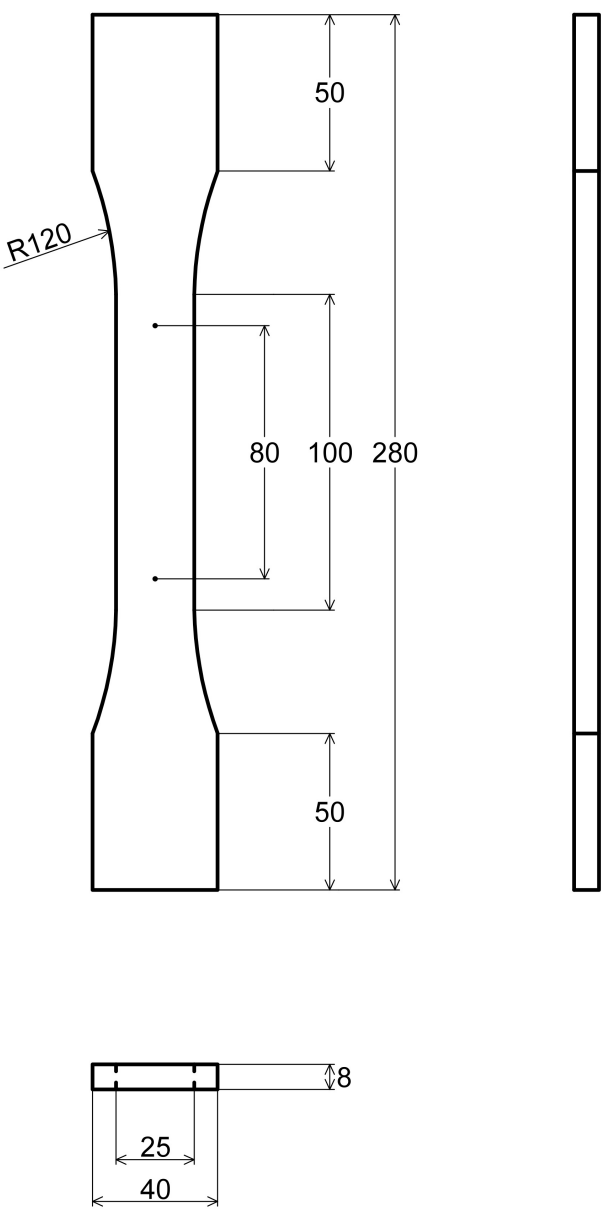
FIRMA:

FECHA: **10-12-2017**

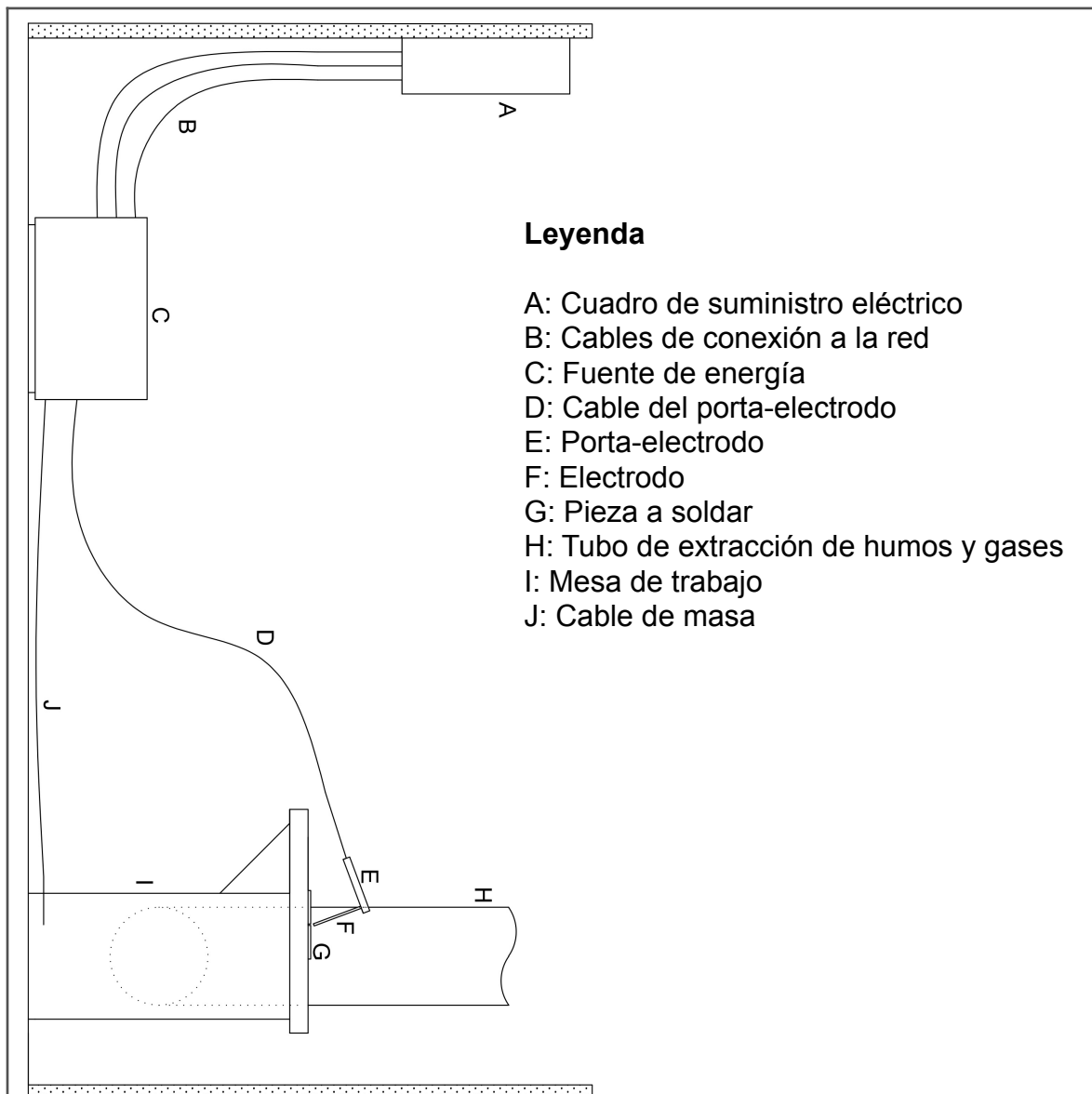
ESCALA: 2 cm - 100 m

PLANO Nº: **2**

### 3.3. Diseño de la probeta

	
<b>E.T.S. DE NÁUTICA Y MÁQUINAS</b> <b>TECNOLOGÍAS MARINAS – ENERGÍA Y PROPULSIÓN</b>	TRABAJO FIN DE GRADO NÚMERO: <b>TFG/GTM/E-41-18</b>
TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO: <b>ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO</b>	
TÍTULO DEL PLANO: <b>Diseño de la probeta</b>	FECHA: <b>10-12-2017</b>
AUTOR: <b>Jaime Rodríguez San José</b>	ESCALA: 1/2
FIRMA:	PLANO Nº: <b>3</b>

### 3.4. Representación esquemática del proceso de soldadura



<b>E.T.S. DE NÁUTICA Y MÁQUINAS</b> <b>TECNOLOGÍAS MARINAS – ENERGÍA Y PROPULSIÓN</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO NÚMERO:</b> <b>TFG/GTM/E-41-18</b>	
<b>TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO:</b> <b>ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO</b>			
<b>TÍTULO DEL PLANO:</b> <b>Representación esquemática del proceso de soldadura</b>		<b>FECHA:</b> 10-12-2017	
		ESCALA:1/10	
<b>AUTOR:</b> <b>Jaime Rodríguez San José</b>		<b>FIRMA:</b>  <b>PLANO Nº:</b> 4	

# **“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO”**

---

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

---



### **GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

#### **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: DICIEMBRE 2017

AUTOR: El alumno

Fdo. Jaime Rodríguez San José

<b>4. PLIEGO DE CONDICIONES</b>	68
<b>4.1. Pliego de cláusulas administrativas generales</b>	68
4.1.1. Disposiciones generales	68
4.1.1.1. Normas generales de aplicación	68
4.1.1.2. Documentos de los que consta este proyecto	68
4.1.1.3. Entidad propietaria	68
4.1.1.4. Director de proyecto	69
4.1.2. Condiciones económicas	69
4.1.2.1. Base fundamental	69
4.1.2.2. Plazo de garantía	69
4.1.2.3. Equivocaciones en el presupuesto	69
4.1.2.4. Mejoras de proyecto	69
4.1.2.5. Seguro de trabajadores	70
4.1.2.6. Reclamaciones por parte del contratista	70
4.1.3. Condiciones temporales y administrativas	70
4.1.3.1. Remisión de precios	70
4.1.3.2. Comienzo de trabajos y plazo de ejecución	70
4.1.4. Condiciones legales	70
4.1.4.1. Jurisdicción	70
4.1.4.2. Accidentes laborales y daños a terceros	71
4.1.4.3. Causas de rescisión del contrato	71
4.1.4.4. Responsabilidades, sanciones y recursos	71
<b>4.2. Pliego de condiciones técnicas particulares</b>	72
4.2.1. Disposiciones generales	72
4.2.2. Máquina Universal y Ensayo de Tracción	72
4.2.3. Materiales empleados	73
4.2.4. Proceso de soldadura	73
4.2.5. Mano de obra	77
4.2.6. Pruebas y análisis	77

## **4. PLIEGO DE CONDICIONES**

### **4.1. Pliego de cláusulas administrativas generales**

#### **4.1.1. Disposiciones generales**

El presente pliego de condiciones tiene por objeto el definir el emplazamiento de la instalación, en este caso la E.T.S. de Náutica y Máquinas de la Universidade da Coruña, el alcance del trabajo, las especificaciones para futuras obras de mejora o mantenimiento de la instalación, y la normativa actualizada aplicada a los elementos de la instalación.

##### **4.1.1.1. Normas generales de aplicación**

El proveedor se ha visto obligado a cumplir con la Ley de Contratos con las administraciones públicas del 30 de Octubre del 2007, así como sus modificaciones.

Todas las unidades de obra se han ejecutado cumpliendo las prescripciones indicadas en los reglamentos de seguridad y normas técnicas de obligado cumplimiento para este tipo de proyecto, tanto de ámbito internacional como a nivel nacional o autonómico, establezcan en la memoria descriptiva de este documento (apartado 1.4.1).

##### **4.1.1.2. Documentos de que consta este proyecto**

El presente proyecto está constituido por cinco documentos básicos del siguiente orden: Memoria, Anexos, Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto.

##### **4.1.1.3. Entidad propietaria**

La Universidad de A Coruña se compromete al mantenimiento de la Máquina Universal y de los equipos de soldadura disponibles en el taller de la E.T.S. de Náutica y Máquinas bajo su cargo.



#### **4.1.1.4. Director de proyecto**

Se nombra a un docente Graduado en Ingeniería Marina como encargado de la dirección de las posibles modificaciones en el desarrollo del proyecto. El posible contratista deberá poner a disposición del mismo todas la facilidades posibles para que éste y su equipo lleven a cabo la labor necesaria de mantenimiento y modificación.

#### **4.1.2. Condiciones económicas**

##### **4.1.2.1. Base fundamental**

El documento relativo al presupuesto tiene por función dar a conocer una estimación del coste actualizado de realización de un proyecto del que trata este documento.

##### **4.1.2.2. Plazo de garantía**

Ante posibles modificaciones o mantenimientos de la instalación, el contratista garantizará los trabajos ejecutados, respondiendo de la calidad de los equipos y materiales utilizados. El plazo de garantía nunca será aceptado por menos de 12 meses.

##### **4.1.2.3. Equivocaciones en el presupuesto**

Los posibles errores derivados en cuanto al presupuesto no responsabilizarán a ninguna de las partes debido al alcance de dicho documento.

##### **4.1.2.4. Mejoras de proyecto**

Serán admitidas bajo concesiones de la entidad propietaria y supervisadas por el Graduado-Director del proyecto.

#### **4.1.2.5. Seguro de trabajadores**

El supuesto contratista será el encargado de asegurar durante todo el período de realización del estudio de mantenimiento y mejora. Es así mismo el encargado del pago de la prima de seguro, que en ningún caso será inferior al interés asegurado. De ser así y gracias a la legislación, esto podría dar lugar a la inhabilitación del contratista.

#### **4.1.2.6. Reclamaciones por parte del contratista**

Sólo serán atendidas aquellas que sean de carácter económicas.

#### **4.1.3. Condiciones temporales y administrativas**

##### **4.1.3.1. Remisión de precios**

Debido a la posible fluctuación de precios, se considera que el presupuesto planteado tiene validez por un mes.

##### **4.1.3.2. Comienzo de trabajos de mantenimiento y plazo de ejecución**

Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, será necesario el especificar inicialmente el plazo de ejecución por parte del contratista e incluirlo en el contrato de obra, quedando omitida cualquier otra alternativa.

En caso de demora en el plazo estimado el único responsable ha de ser el contratista y éste deberá hacerse cargo de los posibles sobrecostos.

#### **4.1.4. Condiciones legales**

##### **4.1.4.1. Jurisdicción**

Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, el contratista es el responsable de la ejecución de las obras

especificadas en el contrato y se obliga a lo establecido en la Ley de Contratos de trabajo con todas sus consecuencias.

#### **4.1.4.2. Accidentes de trabajo y daños a terceros**

Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, en caso de accidentes o daños a terceros, el contratista será el primer responsable ya que ha de ser el encargado de la póliza de seguro. El contratista se verá obligado a seguir las normas de Seguridad e Higiene en el trabajo vigentes en el momento de la realización de la obra.

#### **4.1.4.3. Causas de rescisión del contrato**

Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, se plantean las siguientes causas de rescisión del contrato:

- Muerte o incapacidad del contratista.
- Quiebra del contratista.
- Alteraciones del contrato por causas como la modificación del proyecto o la modificación de las unidades de obra.
- Suspensión de la obra comenzada.
- Abandono de la obra sin causa justificada.
- Mala fe en la ejecución de los trabajos.

#### **4.1.4.4. Responsabilidades, sanciones y recursos**

Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, la responsabilidad técnica y jurídica queda especificada en los apartados anteriores.

No se hace responsable al autor del este documento en caso la empresa contratista decidiese substituir algún componente por otro que no tenga características similares o no sea completamente equivalente. La responsabilidad en este caso correrá a cuenta la empresa contratista. Tampoco es responsabilidad del autor el mal aspecto producido por un acabado defectuoso de la obra o los

deterioros que produzcan los operarios durante la instalación. La sustitución será a cuenta de la empresa contratista.

## **4.2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES**

### **4.2.1. Disposiciones generales.**

Los materiales utilizados han sido homologados en su momento con el fin de evitar posibles problemas en cuanto se refiere a fallos de carácter técnico y reparaciones. Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, se ha de comprometer al continuo uso de materiales homologados.

### **4.2.2. Máquina Universal y Ensayo de Tracción**

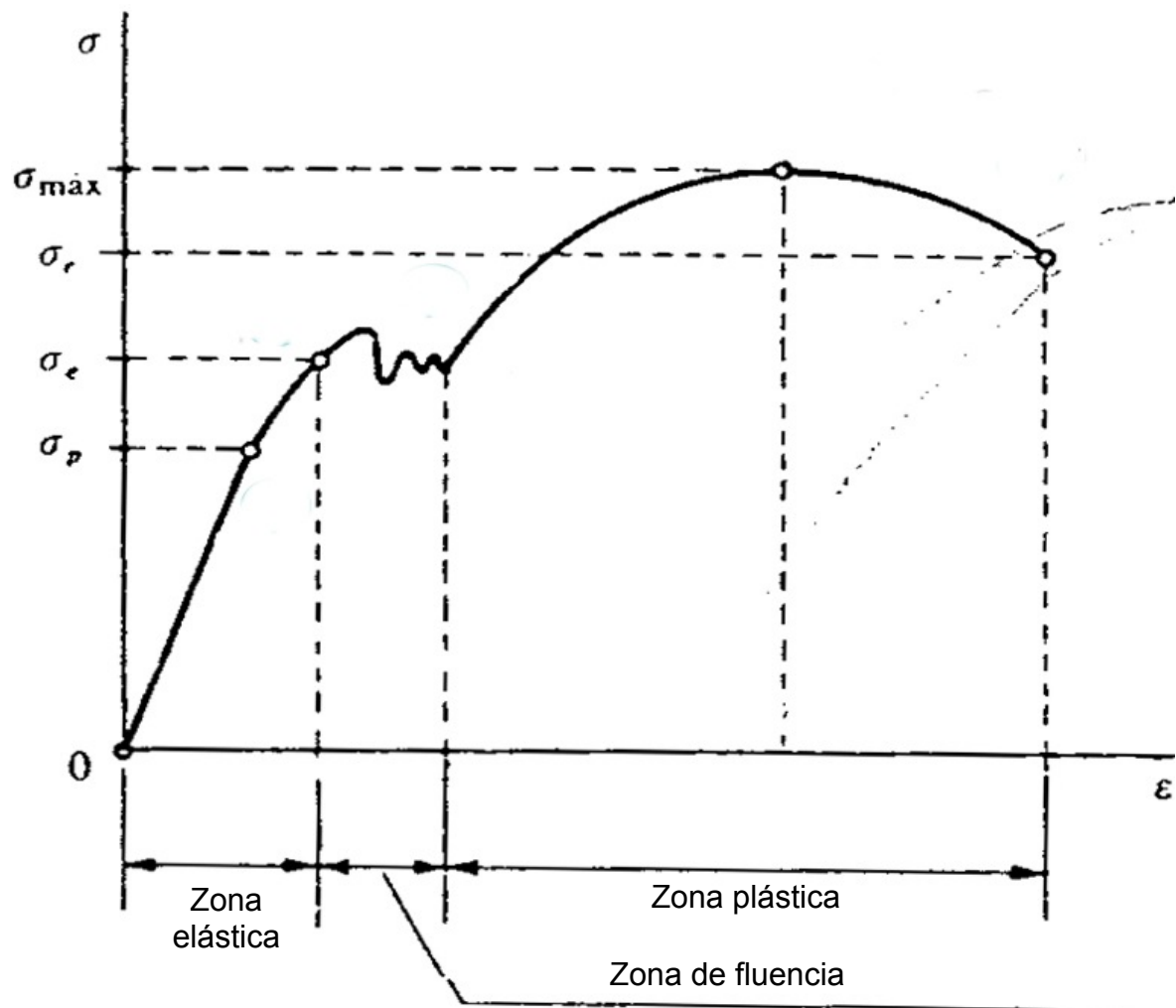
El sistema de medida de la fuerza de la máquina debe llevarse al cero después del ensamblaje del tren de carga del ensayo, pero antes de que la probeta se fije en ambos extremos. Una vez se haya establecido el punto de fuerza cero, el sistema de medida de la fuerza no debe cambiar de ningún modo durante el ensayo. De este modo se garantiza, por un lado, que el peso del sistema de sujeción se ve compensado durante la medición de la fuerza y, por otro, que cualquier fuerza que resulte de la operación de amordazado no afecta a dicha medición.

Las probetas deben sujetarse mediante instrumentos adecuados tales como cuñas, fijaciones atornilladas, mordazas dentadas o asideros amordazados. Con el objeto de minimizar flexiones, debe ponerse el máximo empeño posible en asegurar que las probetas estén sujetas de manera tal que la fuerza se aplique lo más axialmente posible.

El ensayo de tracción tiene por objetivo definir la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando se le somete a fuerzas uniaxiales.

A partir de las dimensiones iniciales de la probeta de acero con un contenido del 0,2 % de carbono, se transforman la fuerza en tensión y el

alargamiento en deformación, lo que nos permite caracterizar las propiedades mecánicas que se derivan de este ensayo y distinguir las dos regiones:



- Zona elástica: abarca la región de bajas deformaciones (hasta el punto B) y, en caso de descargar la probeta, ésta recobraría sus dimensiones originales. La fatiga correspondiente al punto A representa el límite de proporcionalidad, marca la transición de un tramo a otro de la zona elástica y es el punto hasta el cual se cumple la Ley de Hooke. El segundo tramo de la zona de deformación elástica se caracteriza porque carece de proporcionalidad entre la tensión y la deformación y el trazo del diagrama comienza a curvarse hasta alcanzar el límite de elasticidad (punto B). Éste marca la tensión a partir de la cual las deformaciones dejan de ser reversibles y su valor es muy próximo al límite de proporcionalidad. Resulta difícil de medir ya que es preciso aplicar una tensión a la probeta y retirarla posteriormente para comprobar si recupera o no su longitud inicial, así que en

ingeniería se adopta como límite elástico, por convención, la tensión a la cual el material tiene una deformación plástica del 0.2% ( $\epsilon = 0.002$ , en el diagrama).

- Zona plástica: comienza a partir del punto B, donde se pasa de deformación elástica a plástica. La zona con cargas superiores a las correspondientes al límite de elasticidad se caracteriza por una mayor sensibilidad a los alargamientos para el mismo incremento de carga (las pendientes del diagrama son siempre inferiores al módulo de Young) y porque los alargamientos conseguidos son remanentes, es decir, no se recuperan cuando cesa el esfuerzo. Muchos metales, como los aceros de bajo contenido de carbono, no presenta una transición gradual entre las zonas de comportamiento elástico y plástico. Una vez superado el límite elástico, existe una zona de fluencia, en la que la probeta experimenta una deformación perfectamente plástica (súbito alargamiento de la barra), que se muestra abrupta por la liberación gradual de las dislocaciones “fijadas” por los átomos de carbono y la tensión se muestra fluctuante, llegando, incluso, a disminuir.

Tras esto, el trazo del diagrama comienza a curvarse a medida que aumentan la tensión y, consecuentemente, el alargamiento; pues aparece (a partir del punto C) el denominado endurecimiento por deformación, debido a los cambios que el material sufre en su estructura cristalina.

En el punto D, la tensión alcanza su valor máximo, la tensión de rotura del material ya que, a partir de este punto, la probeta se considera rota, aunque físicamente no lo esté. Hasta llegar al punto D, toda la deformación es uniforme en la región estrecha de la probeta, cuya área ha ido decreciendo uniforme y aleatoriamente según el coeficiente de Poisson. Sin embargo, cuando se alcanza la tensión máxima, se empieza a producir una fuerte disminución localizada del área en algún punto de la región estrecha de la probeta (dentro de la zona calibrada), lo cual se denomina estricción, y toda la deformación subsiguiente está confinada en la estricción. La probeta se sigue alargando hasta que, finalmente, se rompe (punto E).

El área utilizada para la obtención del diagrama anterior es el de la sección nominal. A lo largo del ensayo, las reducciones de sección que aparecen son tan pequeñas que apenas hay variación entre la tensión nominal y la tensión real. En

la zona de endurecimiento por deformación y, sobre todo, en la de estricción, las variaciones de sección son mas acusadas y, por ello, la forma de la curva parece indicar que el material soporta una tensión menor pues se representa el cociente de la fuerza aplicada (creciente hasta el comienzo de la estricción) entre la sección inicial. Localmente, la tensión sigue aumentando, lo cual repercute en una tensión real mucho mayor que la tensión teórica, que asume un área constante.

#### **4.2.3. Materiales empleados**

Todos los materiales utilizados cumplen con las normas UNE y normas actuales del Comité Europeo de Normalización correspondientes.

Aquellos componentes adquiridos posteriormente ante posibles mantenimientos o modificaciones deberán igualmente cumplir con dichas normativas. Ello se hará constar en las especificaciones técnicas o catálogos de los fabricantes.

#### **4.2.4. Proceso de soldadura**

Al iniciarse el arco eléctrico, en la punta del electrodo se generará una temperatura de hasta 6.000 °C y el fundente del revestimiento se calentará transformándose en sales fundidas y en vapor, que protegerán al metal fundido de la acción de la atmósfera (incorporación de hidrógeno y porosidad, entre otros defectos). Tras la solidificación del metal fundido, también lo hará la escoria formando una cascarilla que se deberá retirar con la ayuda de un pequeño rastrillo.

El primer factor para la realización de una soldadura correcta es que el operario debe estar en una posición estable y cómoda, preferiblemente de pie y con libertad de movimientos. De cara al proceso de soldadura en sí, es importante mantener la longitud del arco eléctrico en unos 3 mm y constante; el ángulo del electrodo respecto a la pieza debe ser el adecuado al tipo de costura a realizar, electrodo a utilizar y materiales a soldar; una velocidad de avance constante y que deje una costura lo suficientemente fuerte pero sin que se deposite demasiado material de aporte; y, por último, la corriente eléctrica, que es un indicador directo

de la temperatura que se producirá en el arco eléctrico. Si no se alcanza la temperatura adecuada, el aspecto de la costura puede ser bueno pero, seguramente, falte penetración. Si la temperatura es excesiva la costura será deficiente, con porosidad, grietas y salpicaduras de metal fundido.

En caso de no poder soldar las piezas en una posición plana, habrá que soldar de modo que la fuerza de la gravedad no haga caer o derramar el metal fundido. Puesto que la punta del electrodo empuja, se deberá poner éste en un ángulo ligeramente negativo respecto a la horizontal. Si la soldadura es en sentido ascendente, el electrodo se moverá hacia arriba, alejándolo y acercándolo de la pieza cada 10 o 15 mm de cordón para permitir que el metal fundido se solidifique. Si el sentido es descendente, resulta más fácil de controlar, pues el efecto de “rociado” del electrodo ayuda a mantener el material fundido en posición, pero no es la más recomendable puesto que se consigue una penetración inferior que cuando se suelda en sentido ascendente.

Cuando se tiene que soldar en la posición de cabeza, se aplica la misma metodología que al soldar en vertical y sentido ascendente. Resultará necesario realizar la soldadura en varias etapas, para evitar que se eleve demasiado la temperatura del conjunto y permitir que el metal de aporte se solidifique.

Para realizar cualquier tipo de soldadura eléctrica, el operario deberá contar con el equipo de protección necesario para protegerse frente a las chispas, el calor y la luz intensa producida durante el proceso.

- Utilizar siempre máscara o casco con vidrios del grado de protección correcto.
- Antes de comenzar a soldar, examinar si las lentes protectoras tienen grietas o fisuras.
- Utilizar siempre ropa resistente y de color oscuro, ya que las de color claro reflejarán la luz del arco eléctrico, junto con un delantal de cuero con protección de plomo. Cubrir el cuerpo y los brazos con ropas pesadas y totalmente abotonadas.
- Antes de comenzar a soldar, comprobar que las demás personas estén protegidas contra las radiaciones que se desprenderán.
- Utilizar una pantalla no reflectante para proteger a las personas que estén cerca.



- Nunca trabajar en un lugar húmedo, ya que se producirían descargas eléctricas a tierra a través del operario. Deberá conservar sus manos y guantes, vestimenta y el lugar de trabajo continuamente secos.
- Compruebe que la pieza y/o el banco de trabajo estén conectados eléctricamente a tierra.
- Cuando no se esté usando el porta electrodos, nunca se deberá dejar en contacto con cualquier objeto que tenga una línea directa a la superficie donde se suelda. El peligro en este caso es que el porta electrodo, en contacto con el circuito a tierra, provoque un corto circuito en el transformador del equipo de soldadura.
- Nunca se debe soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles. Cuando el área de soldadura contenga gases, vapores o polvos, será necesario mantener perfectamente aireado y ventilado el lugar mientras se suelda. Del mismo modo que soldar en áreas confinadas sin ventilación adecuada puede considerarse una operación de riesgo para el operario, al consumirse el oxígeno disponible, además del calor y los gases/humos generados por la soldadura.

#### **4.2.5. Mano de obra**

Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, se precisará de un técnico cualificado que haga la labor del constructor y supervisor de la obra. Cualquier otro personal secundario ha de estar cualificado con titulación específica y conocimientos suficientes.

#### **4.2.6. Pruebas y análisis**

Ante cualquier obra de modificación de la instalación por mantenimiento o mejora de la misma, el Director de Obra tiene el derecho a someter los materiales a las pruebas y análisis en la propia obra que estime oportunos para asegurarse de sus buenas condiciones.

Si el resultado de las pruebas no es satisfactorio, el Director de Obra tendrá el derecho de decidir desechar la partida entera o el número de unidades que no reúnan las condiciones.

# **“ENSAYO DE TRACCIÓN DE CARA A UNA REPARACIÓN A BORDO”**

---

## **PRESUPUESTO**

---



### **GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

#### **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: DICIEMBRE 2017

AUTOR: El alumno

Fdo. Jaime Rodríguez San José

<b>5. PRESUPUESTO</b>	<b>81</b>
<b>5.1. Presupuesto del ensayo</b>	<b>81</b>
<b>5.2. Presupuesto de la reparación</b>	<b>81</b>
<b>5.3. Presupuesto total</b>	<b>81</b>

## 5. PRESUPUESTO

### 5.1. Presupuesto del ensayo

Concepto	Precio unitario	Total
Realización del ensayo	50 €/hora	150 €
Mecanizado de las probetas según los requisitos del cliente	20 €/probeta	40 €

### 5.2 Presupuesto de la reparación

Concepto	Precio unitario	Total
Estudio de soldadura	50 €	50 €
Realización de las uniones soldadas	60 €/hora	120 €
Consumibles	0,14 €/electrodo	0,28 €

### 5.3. Presupuesto total

Concepto	Total
Coste del ensayo	190 €
Coste de la soldadura	170,28 €